UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR
SEDE CENTRAL
Sucre – Bolivia

MAESTRÍA EN TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022

Tesis presentada para optar el Grado Académico de Magíster en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica

MAESTRANTE: CRISTIAN RODRIGO DE LOS RÍOS ESPADA

Sucre – Bolivia

2023

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR
SEDE CENTRAL
Sucre – Bolivia

MAESTRÍA EN TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022

Tesis presentada para optar el Grado Académico de Magíster en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica

MAESTRANTE: CRISTIAN RODRIGO DE LOS RÍOS ESPADA

TUTOR: MSc. ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS

Sucre – Bolivia

2023

DEDICATORIA

A Dios quien ha sido mi guía, fortaleza y su mano de fidelidad y amor han estado conmigo hasta el día de hoy.

A mi esposa Carla Gonzales Vargas, quien con su amor, paciencia y esfuerzo me ha permitido llegar a cumplir hoy un sueño más.

A mis hijos Briza y Matías por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

A todos mis amigos y compañeros de la Maestría por la amistad que me brindaron en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Andina Simón Bolívar (UASB), a todos los docentes que formaron parte del Programa de Maestría en Teledetección, Sistemas de Información Geográfica para el Desarrollo Sostenible y un sincero agradecimiento a la coordinadora del programa la Dra. Susana Rengel Rojas PhD. Por el apoyo incondicional y amistad.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al MSc. Ing. Miguel Guaman Vargas quien fue mi tutor durante todo este proceso, quien con su experiencia, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de esta tesis.

RESUMEN

Se realizó un análisis multitemporal de los cambios de uso del suelo para el Municipio de Entre Ríos en el periodo 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022, que está ubicada en el oeste del departamento de Cochabamba. Se categorizó y cuantificó el uso de suelo a partir de imágenes satelitales Landsat 8 y validadas con puntos de control en campo. Se ha apoyado en indicadores de degradación ambiental, tales como los índices NDVI, NDWI y IAF. La interpretación digital y análisis multitemporal fue realizada con los Softwares ArcGIS, QGIS y otros. Los resultados logrados muestran variaciones significativas en superficies de las seis categorías de uso definidas según los criterios del Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra (LCCS). Se ha calculado tasas de cambio para las categorías de uso con la ecuación matemática propuesto por FAO (1996), esto permitió conocer la magnitud y velocidad con la que se presentan los procesos de cambio de uso en espacio y tiempo. Se ha calculado matrices de coincidencia del análisis digital de las imágenes satélites para los años en estudio, logrando una confiablidad entre el 99.22% y 81.36% de las seis categorías de uso de suelos. Los paisajes y uso de suelos han cambiado a una tasa de 4.98% entre el 2013 y 2022, esto influye directamente en la degradación ambiental y en especial en la cobertura vegetal. Especialmente en el incremento del Suelo Desnudo (SD) 5.87%, seguido por el bosque amazónico (BA) con el 3.72%, los cursos de agua (CA) se redujo a -3.34%, el bosque yungas (BY) redujo en un -2.11%, el uso agropecuario (UA) tuvo una variación de -0.09 y las zonas urbanas (ZU) a 0.94%. Se ha elaborado mapas de uso de suelos para los años 2013 y 2022. El Gobierno Autónomo Municipal de Entre Ríos debe reducir el avance de actividades humanas (uso agrícola con producción de coca, explotación de maderas y otras extracciones) hacia el área protegida Carrasco, ya que se evidencia el avance en el mapa de uso de suelos para el año 2022. Se recomienda realizar estudios de análisis multitemporal del uso de suelos enfocados al uso pecuario y forestal para monitorear las áreas e identificar los cambios en tiempo – espacio con la finalidad de implementar políticas de conservación y manejo.

Palabras Claves: Clasificación supervisada, tasas de cambio e Imágenes satelitales

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....1

Antecedentes.....1

Planteamiento del Problema.....2

Pregunta de Investigación.....3

Justificación.....3

Objeto de Estudio.....4

Campo de Acción.....5

Objetivos.....5

Objetivo General.....5

Objetivos Específicos.....5

Hipótesis.....5

Diseño Metodológico.....6

Tipo de Investigación.....7

Métodos y técnicas.....7

Materiales y equipos.....10

Muestreo y tamaño de muestra.....10

Procedimientos metodológicos.....11

Formulación de la investigación.....11

Adquisición y recolección de datos geográficos.....12

Trabajo de campo.....13

Calibración y Correcciones de imágenes satelitales Landsat 8.....14

Cálculo de índices NDVI y NDWI.....16

Composición a color y realce de imágenes.....16

Creación de la leyenda en base a LCCS.....18

Clasificación supervisada y cálculo del cambio de uso de suelos 19

Cálculo de tasa de cambio de uso de suelos entre los años 2013 - 2023 20

Proceso de validación..... 20

CAPÍTULO I 22

1 MARCO TEÓRICO..... 22

1.1 Análisis multitemporal y cambio de uso de suelo 22

1.1.1 Análisis multitemporal 23

1.1.2 Cambio de uso de suelo..... 23

1.1.3 Uso de suelo 25

1.1.4 Deforestación..... 25

1.1.5 Métodos de análisis de cambio de cobertura de suelo..... 26

1.1.6 Modelos de cambio de uso del suelo..... 26

1.1.7 Fragmentación del paisaje 27

1.2 Sistemas de clasificación de la cobertura de la tierra 29

1.2.1 Land Cover Classifications Systems (LCCS)..... 29

1.2.2 Índices de cambio propuestos por Pontius et al. (2004)..... 30

1.2.2.1 Matrices de transición..... 33

1.2.2.2 Tasas de cambio de cobertura/uso de suelo 34

1.2.3 Clasificación y leyenda..... 34

1.3 Teledetección..... 35

1.3.1 Fundamentos físicos de Sensores Remotos..... 35

1.3.1.1 Radiación electromagnética..... 37

1.3.1.2 Reflexión de la superficie terrestre 38

1.3.1.3 Reflectividad espectral..... 38

1.3.2 Imágenes satelitales 39

1.3.3 Tipos de imágenes satelitales 41
1.3.4 Características técnicas de imágenes Landsat 8 41
1.3.5 Interpretación digital de imágenes satelitales 44
1.3.5.1 Clasificación Supervisada 44
1.3.5.2 Clasificación No Supervisada 45
1.3.5.3 Cálculo de Indicadores 45
1.3.5.4 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) 46
1.3.5.5 Índice diferencial de agua normalizado (NDWI) 47
1.3.5.6 Interpretación visual de imágenes 47
1.3.5.7 Segmentación de imágenes satelitales 48
1.3.6 Corrección de las imágenes satelitales 49
1.3.6.1 Georreferenciación y corrección geométrica de imágenes de satélite 50
1.3.6.2 Corrección topográfica 51
1.3.6.3 Correcciones radiométricas 52
1.3.7 Resolución de un sistema de sensor 54
1.3.7.1 Resolución espacial 54
1.3.7.2 Resolución espectral 54
1.3.7.3 Resolución temporal 54
1.4 Sistemas de información geográfica (SIG) 55
1.4.1 Datos vs información 58
1.4.2 Modelo de datos espaciales 60
1.4.3 Precisión, unidad mínima cartografiable y escalas cartográficas de referencia 63
1.4.4 Áreas de aplicación del SIG y teledetección 74
CAPÍTULO II 75
2 MARCO CONTEXTUAL 75

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio 75
2.1.1 Ubicación y superficie 75
2.1.2 Distritos municipales 75
2.2 Recursos naturales 76
2.2.1 Vegetación 76
2.2.2 Suelo 77
2.2.3 Áreas protegidas en el municipio 79
2.3 Aspectos físico naturales 79
2.3.1 Clima 79
2.3.2 Altitudes 80
2.3.3 Fisiográfica 80
2.4 Aspectos económicos productivos 80
2.4.1 Tenencia del suelo 80
2.4.2 Principales cultivos y variedades 81
2.4.3 Demografía 83
CAPÍTULO III 86
3 RESULTADOS 86
3.1 Resultados 86
3.1.1 Definición de categorías de uso de suelos en base al Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra (LCCS) 86
3.1.2 Análisis multitemporal de cambios de uso de suelos 88
3.1.2.1 Cuantificación del uso de suelos 88
3.1.2.2 Cálculo de NDVI, NDWI y IAF 90
3.1.2.3 Validación de análisis 92
3.1.3 Cálculo de tasa de cambio de uso de suelo para el periodo 2013 al 2022 96

3.2 Discusiones de resultados.....97

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....101

Conclusiones 101

Recomendaciones 102

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....103

ANEXOS 105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de flujo del proceso de análisis multitemporal de uso de suelos para el municipio de Entre Ríos 9
Figura 2: Ubicación de los puntos de control tomando con GPS aplicando planilla de campo 11
Figura 3: Diagrama de flujo del proceso general de elaboración y ejecución de la tesis 11
Figura 4: Toma de puntos de control de las categorías de uso en el municipio de Entre Ríos 13
Figura 5: Corrección atmosférica de las imágenes landsat 8 15
Figura 6: Corrección topográfica de imágenes satelitales con el método Minnaert Correction wiht slope 16
Figura 7: Análisis visual de confrontación de imágenes satélites en ArcGIS 17
Figura 8: Análisis de componentes principales. 18
Figura 9: Clasificación por máxima probabilidad 19
Figura 10: Los cuatro estados de alteración del paisaje 28
Figura 11: Matriz para la clasificación de cobertura y uso de la tierra 30
Figura 12: Espectro electromagnético 36
Figura 13: Sistema de teledetección 37
Figura 14: Ejemplos de imágenes satelitales 40
Figura 15: Clasificación de los Criterios Jerarquizados 48
Figura 16: Segmentación de imagen Landsat 8 49
Figura 17: Métodos y ecuaciones matemáticas para la corrección topográfica 52
Figura 18: Ejemplo de corrección atmosférica de una imagen satelital 53
Figura 19: Representación del mundo real usando las TIG 56
Figura 20: Componentes principales de los SIG 56
Figura 21: Captura de datos geográficos con GPS tipo navegador por el tesista en sep. 2022 59
Figura 22: Representación vectorial y ejemplos particulares de cada una de ellas con atributos asociados 60
Figura 23: Representación raster y ejemplos del mundo real 61
Figura 24: Componentes básicos de los datos geográficos 61
Figura 25: Estructural del análisis espacial 62

Figura 26: Vectores y raster pueden usarse para mostrar datos discretos y continuos ... 63
Figura 27: Proceso de modelización de la superficie de la tierra: realidad – geoide – elipsoide ... 67
Figura 28 : Diferencias de la superficie real de la tierra, geoide y elipsoide ... 68
Figura 29: Representación de coordenadas geográficas ... 69
Figura 30: Diferencias entre coordenadas cartesianas y polares ... 70
Figura 31: La proyección UTM ... 72
Figura 32: Zonas UTM de sur Bolivia y Sur América ... 73
Figura 33: Las 60 zonas del sistema UTM ... 73
Figura 34 :Estructura etaria de la población del municipio de Entre Ríos ... 84
Figura 35: Ganancia y pérdidas en km2 por categorías de uso entre los años en estudio ... 90
Figura 36: Resultados del análisis del NDVI de gestión 2013 y 2022 ... 92
Figura 37: Tasas de cambio de uso de suelos para el periodo 2013 -2022 ... 97
Figura 38: Diferencias visuales de paisajes de imágenes satélites landsat en 2013 y el 2022 ... 99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de las variables 6
Tabla 2: Imágenes Landsat utilizado para la investigación 12
Tabla 3: Tipos y grados de alteración de los paisajes. 28
Tabla 4: Matriz de transición con ganancias y pérdidas 31
Tabla 5: Características de las imágenes Landsat 8 43
Tabla 6: Combinaciones de bandas de imágenes satelitales landsat 43
Tabla 7: Criterios técnicos básicos para el diseño cartográfico de los estudios de uso del suelo con fines de planeación territorial en 3 niveles de organización. 64
Tabla 8: Resolución espacial de datos satelitales, escala cartográfica máxima, y unidad mínima cartografiable 65
Tabla 9: Elipsoides de mayor uso en la cartografía 67
Tabla 10: Distritos del municipio de Entre Ríos 76
Tabla 11: Unidades de suelo del municipio de Entre Ríos 78
Tabla 12: Cultivos principales del municipio de Entre Ríos 82
Tabla 13: Leyenda temática de categoría de uso de suelos determinadas para el análisis multitemporal 87
Tabla 14: Superficies y porcentajes por categorías de uso de suelos para los años en estudio 89
Tabla 15: Ganancias y pérdidas en superficies km2 89
Tabla 16: Medidas descriptivas de NDVI de las gestiones en estudio 91
Tabla 17: Medianas de matriz de coincidencia por gestiones 93
Tabla 18: Matriz de coincidencia de la gestión 2013 93
Tabla 19: Matriz de coincidencia de la gestión 2015 94
Tabla 20: Matriz de coincidencia de la gestión 2017 94
Tabla 21: Matriz de coincidencia de la gestión 2019 95
Tabla 22: Matriz de coincidencia de la gestión 2022 95
Tabla 23: Matriz de tasas de cambios de uso de suelos entre los años 2013 y 2022 96

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: MEMORIA FOTOGRÁFICA DE LAS PRINCIPALES ACTIVIDADES DE CAMPO EN PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA TESIS 106
ANEXO 2: PLANILLAS DE CAMPO APLICADO POR CATEGORÍAS DE USO DE SUELOS EN EL MUNICIPIO ENTRE RÍOS 108
ANEXO 3: CARTAS DE COORDINACIÓN Y SOLICITUD DE INFORMACIÓN OFICIAL AL GAM DE ENTRE RÍOS 113
ANEXO 4: MAPAS DE ÍNDICE DE VEGETACIÓN GESTIÓN 2013 - 2022 116
ANEXO 5: MAPAS DE ANÁLISIS DEL ÍNDICE DIFERENCIAL DE AGUA NORMALIZADO (NDWI) GESTIÓN 2013 - 2022 117
ANEXO 6: MAPAS DE ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF) GESTIÓN 2013 - 2022 118
ANEXO 7: MAPAS DE ANÁLISIS DE USO DE SUELO DEL MUNICIPIO DE ENTRE RÍOS GESTIÓN 2013 - 2022 119

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007 pág. 10) señala que algunas actividades antropogénicas generan un forzamiento radiactivo, positivo o negativo, ocasionando alteraciones o la disminución en la temperatura del aire. Las variaciones en la cobertura del suelo se constituyen en uno de los forzamientos naturales y antropogénicos que operan a diferentes escalas y que inciden en cambios en el clima regional y mundial siendo uno de los principales impulsores de la pérdida de diversidad biológica (Brovkin et al. 2006, pág. 5). La pérdida de la cobertura vegetal es uno de los eventos más impactantes a nivel global, pues no solo altera el ciclo hidrológico, sino que produce serios problemas de erosión, salinización, pérdida de productividad primaria y disminución de la capacidad de infiltración de agua para la recarga de acuíferos (Rosas et al. 2006, pág. 30).

La mayoría de los cambios ocurridos en los ecosistemas terrestres van acompañados de la degradación del suelo y estos procesos implican conversión en el uso de las coberturas vegetales; por tanto, traen graves consecuencias a los ecosistemas (Guerrero, & Moreno, 2015, pág. 25). Está estrechamente relacionado con los cambios de uso de suelo, están los cambios en los climas regionales producidos por las actividades antrópicas que han transformado el ciclo hidrológico, los balances hídricos y la energía superficial; como consecuencia, el impacto más significativo de estos cambios han sido las afectaciones a la biodiversidad (Velasquez, et al. 2010, pág. 45). En la actualidad, la disponibilidad de datos satelitales en series de tiempo ofrece diferentes opciones para el estudio del ambiente, de formas casi imposibles de replicar con métodos de medición tradicionales (Miranda, 2013, pág. 11).

El conocimiento sobre la dinámica del uso y cobertura del suelo es un factor de vital importancia, porque sirve como base para generar propuestas de planeación para el futuro. Se estima que la superficie original arbolada en el mundo, desde los orígenes de la humanidad, se ha reducido en la actualidad hasta la mitad (Velasquez, et al. 2010, pág. 45). “El Estado Plurinacional de Bolivia es un país que cuenta con una gran variedad de formaciones vegetales, que van desde bosques amazónicos hasta vegetación alto andina,

tiene una superficie boscosa de 50 000 000 ha, que equivale a un 44 % de la superficie total" (Killeen et al. 2014, pág. 13).

En Bolivia, los estudios sobre la dinámica de cambios de uso de suelo y cobertura no son novedosos. Estos trabajos son tesis de maestría y consultorías por producto, tales como la "Identificación de la Cobertura de la Tierra utilizando el Sistema de Clasificación LCCS (Land Cover Classification System) en el Municipio de Roboré". Tesis Maestría Profesional en el CLAS. Cochabamba – Bolivia. Otra importante, es el "Análisis multitemporal de la cobertura y uso de la tierra a través del sistema LCCS en la cuenca baja del Río Grande-Santa Cruz", entre otras.

A nivel internacional, por ejemplo, en Nicaragua se usan luego que han ocurrido huracanes, en Colombia se han realizado muchos estudios de uso de suelo en la región de la Amazonía colombiana, en regiones relacionadas con trabajos de minería (Flórez-Yepes et al., 2017) e incluso se han desarrollado estudios multitemporales de usos de suelo proyectados hasta el año 2020 (Guerrero, & Moreno, 2015, pág. 5); así mismo en Honduras, Ecuador, Venezuela y México también se han aplicado. En el continente europeo, es relevante resaltar los estudios multitemporales del uso de suelo en Roma e Italia que señala (Di Gregorio, 2005) en su trabajo: El uso del suelo y el análisis multitemporal – Modificaciones del tejido urbano en la Provincia de Roma (Italia) 1990-2000.

Planteamiento del Problema

El cambio de uso del suelo, genera la pérdida de cobertura vegetal, promovida por la deforestación, ganadería y otros factores de aprovechamiento de uso de los recursos naturales en el municipio de Entre Ríos. La carencia de información y poca aplicación de tecnología SIG y Teledetección para calcular el uso actual del suelo y como este ha ido cambiando en tiempo y espacio dentro del límite político-administrativo del municipio, da como resultado el desconocimiento de la situación actual de sus recursos naturales y que empuja al uso insostenible de estos. En este sentido se ha identificado el siguiente problema:

Insuficiente conocimiento de la dinámica espacio-temporal del cambio de uso del suelo entre los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022 en el municipio de Entre Ríos.

Pregunta de Investigación

¿Cuánto ha cambiado el uso de suelos del municipio de Entre Ríos entre los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022?

Justificación

En la actualidad, la situación mundial de la pérdida de bosques está siendo latente por diferentes causas como: la expansión agrícola, minería, crecimiento de zonas urbanas que van ligadas con el crecimiento de la población a nivel mundial y que lleva a la demanda de suelos agrícolas (FAO, 2016, pág. 14). A pesar de que hay diversas estrategias para verificar las variaciones del uso de suelo, el análisis multitemporal es una de las herramientas mejor calificadas para medir a largo plazo este proceso (Chuvieco, 2008, pág. 27). "El análisis multitemporal es un proceso cronológico de análisis digital de dos o más imágenes satelitales de una misma área y que al ser contrastadas, permite identificar cambios acerca del uso de los suelos y su dinámica y de este modo, determinar las ganancias o pérdidas de cobertura del suelo en un tiempo-espacio dado". Los suelos pueden verse afectados por procesos naturales que inciden en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, la realidad es que en un 80% los efectos negativos que han sufrido son responsabilidad de hombre, debido a prácticas no sustentables que afectan su conservación (Guerrero, & Moreno, 2015).

Cincotta et al. (2000) argumentan que estudios realizados en los últimos 25 años proponen una relación estrecha entre la deforestación y el crecimiento demográfico. Sin embargo, se ha argumentado también que aún en áreas con poca población local, se experimentan altas tasas de deforestación e impacto del ecosistema. Esta situación se manifiesta en el municipio de Entre Ríos. En Bolivia, las políticas estatales van enfocadas al manejo sostenible de los recursos naturales. El suelo es uno de estos recursos priorizados por su alta importancia para el desarrollo de cualquier espacio político y administrativo como es el municipio de Entre Ríos. Esto hace evidente la necesidad de información confiable sobre la dinámica espacial de los cambios de uso del suelo a través de la gestión ambiental. La riqueza natural extraordinaria del país debe ser preservada y aprovechada racionalmente para contribuir a mejorar la calidad de vida de las futuras generaciones.

Para esta finalidad es necesario la generación y disponibilidad de datos espaciales del uso del suelo, que permita observar el estado de conservación y la intervención antropogénica

en tiempo y espacio. En este sentido, se pretende dar respuesta a la pregunta ¿Cuánto ha cambiado el uso de suelos del municipio de Entre Ríos entre los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022?

Las coberturas existentes en la superficie de la tierra son consideradas como indicadores y de fácil detección de cambios, considerando un parámetro crítico. Estos cambian a través del tiempo y espacio, provocando la pérdida progresiva de la cobertura forestal. Por tanto, es analizar los efectos positivos y/o negativos que se hayan generado.

En el municipio de Entre Ríos se presenta áreas frágiles ubicadas al sur, donde están las mayores partes boscosas y cabeceras de agua dulce del municipio, que deberían conservarse y protegerse de las actividades antropogénicas. Estos sectores son intervenidas sin considerar su vocación de uso y tal como indica (Medina, 2015, pág. 66), el cambio de la cobertura vegetal va sucediendo en el transcurso del tiempo, debido a la consecuencia de las transformaciones del uso de la tierra, fenómenos naturales y actividades antropogénicas. Farnum, et. al. (2019) afirma que el cambio de uso de suelo y cobertura ocasiona que en los fragmentos la capacidad de uso de suelo se vea afectada o disminuida por procesos naturales como la erosión, las capacidades de infiltración de agua y las actividades antropogénicas.

Guerrero & Moreno (2015) afirman que el progreso, el crecimiento demográfico y las actividades humanas han aumentado las presiones sobre los servicios ambientales que se originan de los recursos naturales. Este estudio tiene la finalidad de generar datos e información sobre la dinámica de cambios en el uso de suelo en la última década del municipio de Entre Ríos, para la gestión ambiental municipal con información técnica podrán definir líneas estratégicas.

Objeto de Estudio

Variaciones de cambio del uso de suelo entre los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022 entre los límites territoriales del municipio de Entre Ríos. Esto con la finalidad de contribuir a la generación de información confiable para la gestión ambiental del municipio.

Campo de Acción

El diagnóstico de la dinámica espacial de cambios de uso de suelo del municipio de Entre Ríos entre los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022 permite contar con datos e información lo más cercanas a la realidad en el campo de gestión ambiental del espacio político administrativo del municipio. Por tanto, identificar los tipos de uso de suelos y cuantificarlos para llegar a conclusiones y recomendaciones que los gestores puedan consideran en la toma de decisiones en busca de posibles soluciones o definir directrices de conservación.

Objetivos

Objetivo General

Analizar el cambio de uso de suelos entre los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022 del municipio de Entre Ríos, con la finalidad de contribuir a la generación de información espacial confiable para la gestión ambiental.

Objetivos Específicos

- Definir categorías de uso de suelos en base al Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra (LCCS) que permita ejecutar un análisis multitemporal entre los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022 del municipio de Entre Ríos.
- Analizar los cambios de uso de suelos para cuantificar en las categorías definidas según el sistema LCCS para los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022 de municipio de Entre Ríos.
- Determinar las tasas de cambio de uso de suelo por categorías para el periodo del 2013 - 2022 del municipio de Entre Ríos.

Hipótesis

La explotación de los recursos naturales insostenible en el municipio de Entre Ríos, son factores que influyen en la degradación ambiental. En este contexto esta investigación pretendió demostrar las siguientes hipótesis:

H_0 Las tasas de cambio de uso de suelo entre los años 2013 - 2022 no son significativas y no influyen directamente en la degradación ambiental del municipio de Entre Ríos.

H_a Las tasas de cambio de uso de suelo entre los años 2013 - 2022 son significativas e influyen directamente en la degradación ambiental del municipio de Entre Ríos.

Tabla 1: Operacionalización de las variables

Pregunta de Investigación	Objetivo general	Variables	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
¿Cuánto ha cambiado el uso de suelos del municipio de Entre Ríos entre los años 2013, 2015, 2017,2019, 2021 y 2022?	Analizar el cambio de uso de suelos para los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022 del municipio de Entre Ríos, con la finalidad de contribuir a la generación de información espacial confiable para la gestión ambiental.	Variable independiente: Uso de suelo	Uso del suelo en agricultura y pecuaria	Cantidad de superficie en km^2 sobre el uso de suelo por agricultura, bosques, suelos desnudos y agua	Puntos de control en campo Análisis visual y digital en ArcGIS, QGIS y otros softwares
			Bosques		
			Suelo desnudo		
			Agua y otros		
		Variable dependiente: Tasas de cambios	Variación en superficie de usos de suelo entre los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022.	Cambios de uso de suelo en los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022	Análisis supervisado de imágenes satelitales. Índices de coincidencia Kappa. Matrices de tasas de cambio.

Diseño Metodológico

Esta investigación ha sido diseñada para lograr los objetivos específicos y responder la pregunta formulada de: ¿Cuánto ha cambiado el uso de suelo del municipio de Entre Ríos entre los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022? El proceso metodológico consistió en 5 etapas con la combinación de datos de campo y la clasificación supervisada de imágenes satelitales Landsat 8. Estas imágenes se han procesado y analizado de forma visual y digital con softwares SIG, y la clasificación supervisada para lograr cartografía de uso y cobertura de suelos del municipio de Entre Ríos.

Tipo de Investigación

Esta investigación es de tipo cuantitativo con enfoque descriptivo y un diseño no experimental, en la que se plantea un análisis multitemporal del uso de suelos de toda la extensión territorial del municipio de Entre Ríos. Bajo este contexto en la mayoría de los municipios del trópico se han incrementado las áreas de crecimiento urbanísticos y avance de actividades de extracción de los recursos naturales en los últimos años. Esta tesis es del área de SIG (Sistemas de Información Geográfica) y busca describir la dinámica del cambio de uso de suelo a nivel espacio-temporal para aplicarlo en la gestión ambiental entre los límites territoriales del municipio.

Métodos y técnicas

Para este estudio se aplicó el método de clasificación supervisada conocido como Máxima Verosimilitud (MaxLike) (Velasquez et al. 2010)". Este método estadístico emplea firmas espectrales generadas previamente de las seis clases de uso de suelo (con los puntos de control tomados in situ) en las imágenes satelitales Landsat 8. Existen diferentes algoritmos de clasificación que permiten cubrir grandes porciones del terreno de manera rápida y efectiva. Dichos algoritmos se encuentran basados en diferentes características de la imagen como es la reflectancia del espectro electromagnético almacenada en cada pixel, la textura y el contraste entre otros (Sanderson 2007). El algoritmo de máxima verosimilitud se alimenta de puntos de control (muestreos de campo) que considera como parámetros. Posteriormente, selecciona los valores de un conjunto finito de datos de la imagen satelital Landsat 8, con mayor probabilidad de acercarse a algún parámetro (clases de uso) definido previamente, para después ser agrupado en clusters, bajo un mismo valor reclasificado en temas o clases; es decir, los parámetros que maximizan la función de verosimilitud (Andersen 1980). La clasificación MaxLike también es conocida como: "Clasificación por algoritmo Bayesiano", dado que se le puede asignar probabilidades a priori, empleando el teorema de Bayes, el cual, expresa la probabilidad condicional de un evento aleatorio A dado en B de acuerdo a la siguiente ecuación 1: Ecuación base del teorema de bayes.

$$P(A_i|B) = \frac{P(B|A_i)P(A_i)}{\sum_{k=1}^{n} P(B|A_k)P(A_k)} \quad (1)$$

Para la evaluación de cambios en uso de suelo del municipio de Entre Ríos, se utilizaron los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como principal herramienta y métodos de análisis digital de imágenes satelitales como es la clasificación supervisada, donde se tomaron en cuenta aspectos técnicos y características biofísicas – productivas del municipio en estudio. Según Lu et al. (2004) los criterios de clasificación para la detección de cambios en las coberturas de suelo, sugiere tres criterios.

El primer criterio "se fundamenta en la técnica empleada para detectar el cambio, mismo que puede estar ligado a un cambio en la reflectividad o en las texturas de la imagen, las cuales son separables y afectadas por las limitaciones espaciales, espectrales, temáticas y temporales e incluye los métodos de":

1. Álgebra de mapas
2. Transformaciones matemáticas y
3. Post-clasificación.

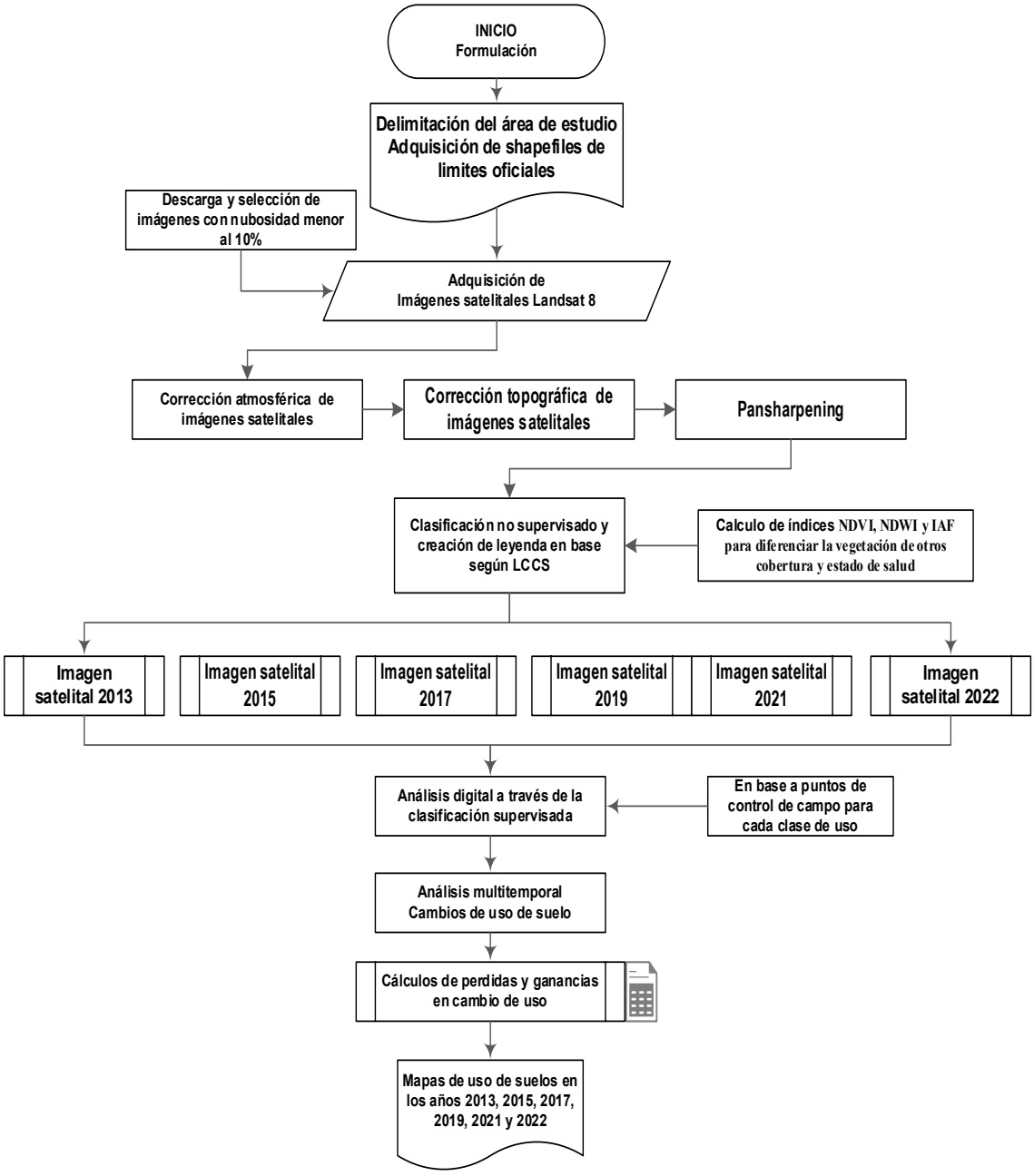
El segundo criterio se basa en la temporalidad de la información (Eastman, 2003) e incluye:

1. "Análisis bitemporal (imágenes de dos fechas)".
2. "Análisis multitemporal (varias fechas o series de tiempo)".
3. "Predicción de cambios a futuro".

El tercer criterio de clasificación se fundamenta en el tipo de datos empleados según Chuvieco, (2008, pág. 18) los cuales pueden agruparse en: Análisis de datos continuos y datos categóricos. Los datos continuos incluyen todas las metodologías numéricas tales como: Álgebra de mapas, transformaciones matemáticas y modelación; mientras que los datos categóricos se basan en una post clasificación con matrices de cambio o a través de cadenas de Markov.

"La metodología de análisis multitemporal, es una técnica de análisis que permite obtener conclusiones con relación a las transformaciones espaciales de una región. Al realizar el procesamiento multitemporal de imágenes satelitales, se debe obtener una serie de datos que estén referenciados de acuerdo a la fecha de su origen, y finalmente tienen que convertirse en un conjunto único de datos" (Velasquez et al. 2010). Tomando en cuenta esta metodología, se ha logrado elaborar un diagrama de flujo sobre el análisis de cambio de uso de suelos del municipio de Entre Ríos, que se ilustra en la siguiente hoja.

Figura 1: Diagrama de flujo del proceso de análisis multitemporal de uso de suelos para el municipio de Entre Ríos



Materiales y equipos

Material de escritorio: Papelería, Planilla de campo, softwares ArcGIS v10x, QGIS v3.26, Excel, Word; libreta de campo; tablero y machete.

Material Cartográfico: Imágenes satelitales Landsat 8 de los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022, y coberturas cartográficas en formato shapefiles de límites políticos administrativos del Municipio de Entre Ríos. Estos últimos fueron shapefiles oficiales solicitados a los técnicos municipales.

Equipos: GPS (Sistema de Posicionamiento Global), cámara fotográfica, Computadoras con características de Ingeniería (laptop) e impresoras. Para el trabajo de campo y recorrido en la toma de puntos de control se usó vehículo 4 x 4 y motocicleta 250 CC.

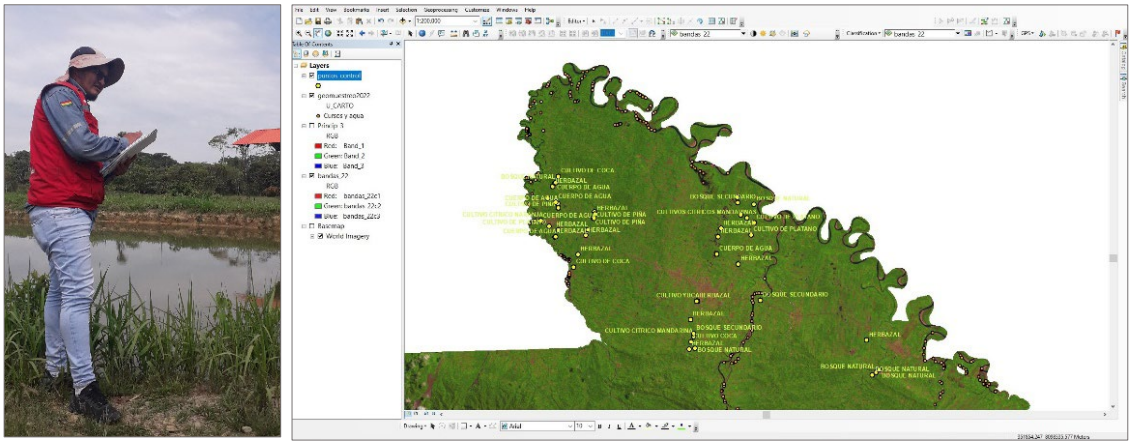
Muestreo y tamaño de muestra

Se implementó el método de muestreo sistemático no alineado, significa que la muestra se distribuye de manera regular, pero con un cierto grado de libertad y permite representar todo el terreno.

El análisis digital en imágenes satelitales Landsat 8 se hicieron a través de la clasificación supervisada y respaldadas con puntos de control tomadas en campo. El tamaño de la muestra fue de 240 puntos de control obtenidos en campo, 40 puntos de control por categorías de uso de suelos. El análisis digital de clasificación supervisada fue a todos los pixeles de las imágenes satelitales Landsat, al 100% de la superficie del municipio de Entre Ríos que abarca 2197.03 km^2.

Los algoritmos de clasificación supervisada se han utilizado en problemas, los cuales se conoce a priori el número de clases y el reconocimiento de patrones representa cada clase que ya se definió con anterioridad. Básicamente consiste en que, para clasificar automáticamente una nueva muestra, se tiene en cuenta la información que se pueda extraer de un conjunto de objetos disponibles divididos en clases y la decisión de una regla de clasificación. Tal como menciona Chuvieco, (1996) se ha implementado puntos de control con el análisis visual de imágenes satelitales, en base a los 40 puntos de control por categoría de usos de suelos, obtenido en campo respetando la proporción de los puntos correctamente asignados (diagonal) representa la confiabilidad de la clasificación.

Figura 2: Ubicación de los puntos de control tomando con GPS aplicando planilla de campo



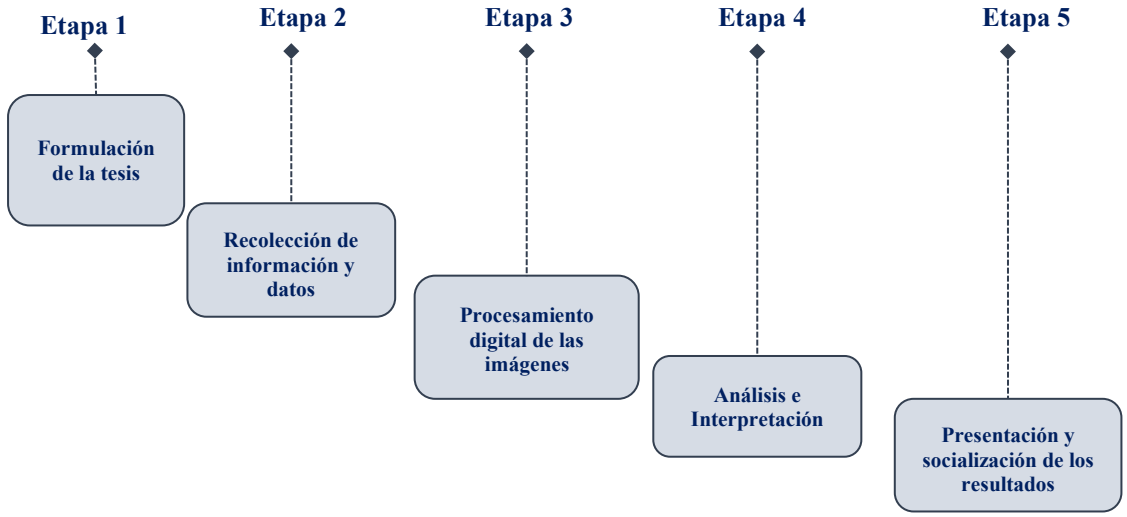
Fuente: Elaboración propia

Procedimientos metodológicos

Formulación de la investigación

Se ha diseñado y formulado la investigación a partir del contexto biofísico y el planteamiento del problema, con un viaje de coordinación con las autoridades y técnicos del municipio de Entre Ríos, y el reconocimiento del área de estudio. La investigación ha sido realizada en cinco etapas que detallan en el siguiente diagrama de flujo (figura 3).

Figura 3: Diagrama de flujo del proceso general de elaboración y ejecución de la tesis



Adquisición y recolección de datos geográficos

Dentro de las actividades principales en gabinete para esta tesis, se ha recabado dos tipos de información: secundarios y primarios. Los secundarios, fueron la revisión bibliográfica y la obtención de geo información (shapefiles de límites municipales oficiales del Ministerio de Autonomías de Bolivia) descargados de páginas web oficiales. Las imágenes Landsat TM 8 descargadas de la página web https://earthexplorer.usgs.gov/ fueron de los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022. Descargados bajo criterios de coincidencia de fechas (meses) y nubosidad de -30%. En la siguiente tabla se detallan las fechas y el Path-Row. Se descargó las imágenes satelitales Landsat 8 colección 2 nivel 1 (sensor OLI) de las escenas 231-72 y 232-72 que cubren el municipio de Entre Ríos.

Tabla 2: Imágenes Landsat utilizado para la investigación

N°	Descarga de Imagen	Fecha	Precipitación Mensual mm
1	LC08_L1TP_231072_20130703_20200912_02_T1	07/06/2013	81.4
2	LC08_L1TP_232072_20130726_20200912_02_T1	26/07/2013	
3	LC08_L1TP_231072_20150826_20200908_02_T1	26/08/2015	61.06
4	LC08_L1TP_232072_20151020_20200908_02_T1	26/10/2015	
5	LC08_L1TP_231072_20170831_20200903_02_T1	31/08/2017	61.04
6	LC08_L1TP_232072_20170822_20200903_02_T1	22/08/2017	
7	LC08_L1TP_231072_20190805_20200827_02_T1	08/05/2019	69.04
8	LC08_L1TP_232072_20190828_20200826_02_T1	28/08/2019	
9	LC08_L1TP_231072_20210911_20210916_02_T1	09/11/2021	66.63
10	LC08_L1TP_232072_20210614_20210622_02_T1	22/06/2021	
11	LC08_L1TP_231072_20220821_20230401_02_T1	21/08/2022	98.78
12	LC08_L1TP_232072_20221015_20230325_02_T1	15/10/2022	

Fuente: Elaboración propia

Para seleccionar las fechas de adquisición o descarga de las imágenes Landsat 8 (capturadas por satélite), se analizó las condiciones climáticas del área de estudio. Estas cumplieron criterios de coincidencia y cercanía en fechas (meses y días) entre los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022, las precipitaciones deberían ser mínimas, nubosidad del 10% y las características de usos de suelos.

Es decir, que en estos meses la cobertura vegetal y uso de suelos se diferencien entre paisajes en el municipio de Entre Ríos. Esto tuvo la finalidad de reducir las variaciones por efectos de las condiciones climáticas en la clasificación digital y el análisis visual que ayudó a crear las categorías de usos de suelos.

Trabajo de campo

Para poder realizar una clasificación supervisada, fue necesario contar con puntos de muestreo para cada clase de uso de suelo. Se recolectó 240 puntos de control, 40 puntos por cada clase de uso de suelo. La recolección de datos se realizó en dos viajes al municipio de Entre Ríos. La primera, para delimitar el área de estudio y conseguir información de límites políticos administrativos del municipio, y la segunda fue para realizar recorridos de campo para tomar puntos de control de las categorías de uso de suelos. En este último, se ha tomado fotografías y se han descrito estos puntos geográficos de cobertura alrededor de 100 metros o lo que la vista lo permitía. En este viaje se ha aplicado la planilla que se muestra en Anexo 1.

En el trabajo de campo se tomaron fotografías a fin de corroborar los datos obtenidos en la clasificación supervisada. Los puntos de control fueron tomados en función a la accesibilidad de la carretera y los recursos disponibles como se puede ilustrar en las siguientes fotografías.

Figura 4: Toma de puntos de control de las categorías de uso en el municipio de Entre Ríos

Fuente: Elaboración propia

Calibración y Correcciones de imágenes satelitales Landsat 8

Una vez descargados los datos geográficos (imágenes satelitales Landsat 8 y MDE ALOS Palsar) se procedió a realizar la corrección geométrica y radiométrica de las 2 escenas que cubre toda la superficie del municipio de Entre Ríos de los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022. Esto se ha realizado porque según Mariotto y Gutschick, (2010) las imágenes de satélite están sometidas a una serie de interferencias o de errores durante su recepción, que perturban la información que quiere analizarse. En tal sentido, se realizó las correcciones geométricas, atmosféricas y topográficas.

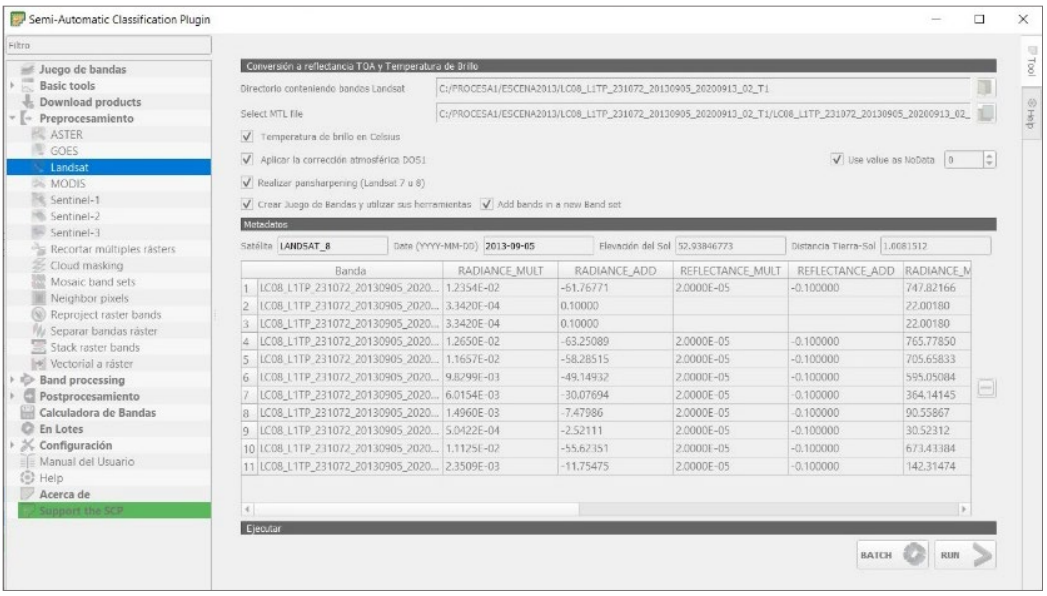
- ✓ **Corrección geométrica**

Este proceso consistió en la reasignación de parámetros geográficos a las imágenes satelitales de latitud, longitud y sistema de coordenadas geográficas UTM 20 S) a las imágenes satelitales Landsat 8, ya que estos vienen con UTM 20 N, MDE y shapefiles de límites políticos administrativos.

- ✓ **Corrección atmosférica**

Este procesamiento se realizó a todas las escenas y bandas de las imágenes satelitales Landsat 8 utilizadas. El procedimiento consistió en la modificación de los valores digitales (ND) originales, con el propósito de obtener imágenes con contrastes mejorados que ayuden a la interpretación visual para obtener un mejor resultado en la clasificación; sin embargo, esto implica alterar los valores de ND original. Tal como menciona Chuvieco (2008), la clasificación digital de imágenes satelitales es a partir de la reflectancia. Para ello se convirtió los ND a Radiancia (esta etapa se conoce como calibración radiométrica) y la conversión de radiancia a reflectancia (es decir, el cálculo de la reflectancia en el sensor). Se ha usado el software QGIS 2.26 tal como se ilustra en la figura 5.

Figura 5: Corrección atmosférica de las imágenes landsat 8



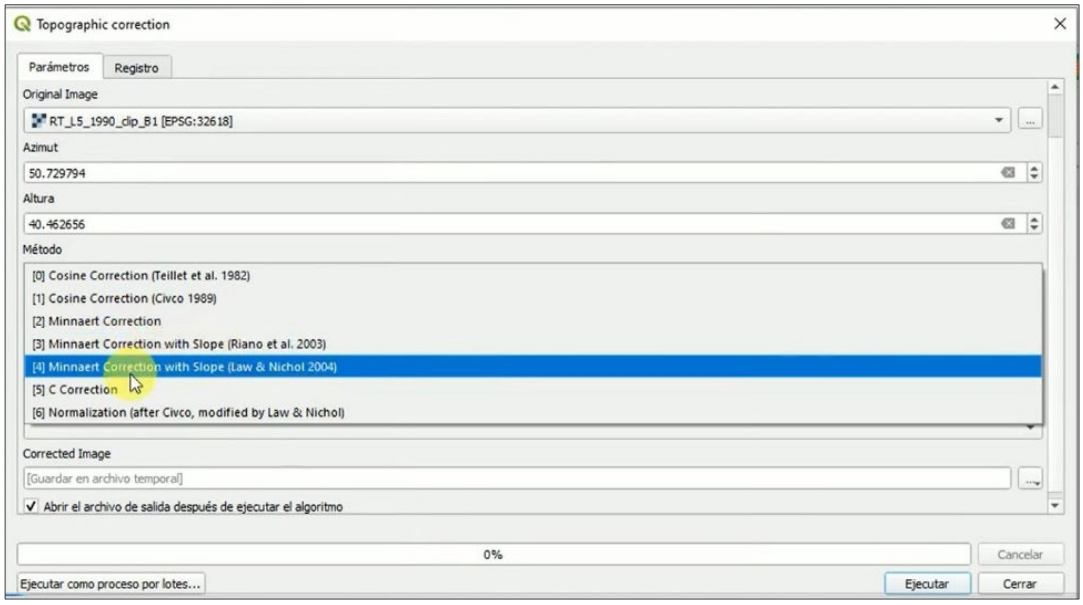
Fuente: Elaboración propia

- ✓ **Corrección topográfica**

Los modelos utilizados, para atenuar el problema de las sombras, deben ser ajustados localmente ya que se reconoce que "no existe un modelo de aplicación universal que resuelva todos los problemas (Mariotto y Gutschick, 2010)". Existen varias formas de hacer estas correcciones, pero la idea de este documento es que el método sea simple y realizable con un software libre. Además, los resultados tienen que ser óptimos en cuanto al objetivo del análisis digital de imágenes satelitales Landsat 8.

Este proceso se ha realizado en QGIS con el método Minnaert Correction wiht slope que se detalla en la figura 17. En la figura 6 se puede ilustrar a través de una captura de pantalla los aspectos que fueron tomados en cuenta para el análisis de la corrección topográfica y el método seleccionado de la misma, con la implementación de los metadatos de la imagen.

Figura 6: Corrección topográfica de imágenes satelitales con el método Minnaert Correction wiht slope



Fuente: Elaboración propia

- ✓ **Pansharpening**

Se ha mejorado la resolución de imagen de 30 m de resolución a 15 m con la banda 8 de las imágenes Landsat 8. Este fue a través del pansharpening, o refinado pancromático, mejorando la resolución de las imágenes satelitales y utilizando como referencia una banda pancromática de alta resolución. La técnica consistió en usar una imagen pancromática de mayor resolución y combinarla con el resto de bandas de menor resolución generando una nueva imagen multibanda a color y preservando la máxima resolución.

Cálculo de índices NDVI y NDWI

Se ha calculado los índices NDVI y NDWI con las ecuaciones y la metodología detallada en el 1.4.5.4 y 1.4.5.5.

Composición a color y realce de imágenes

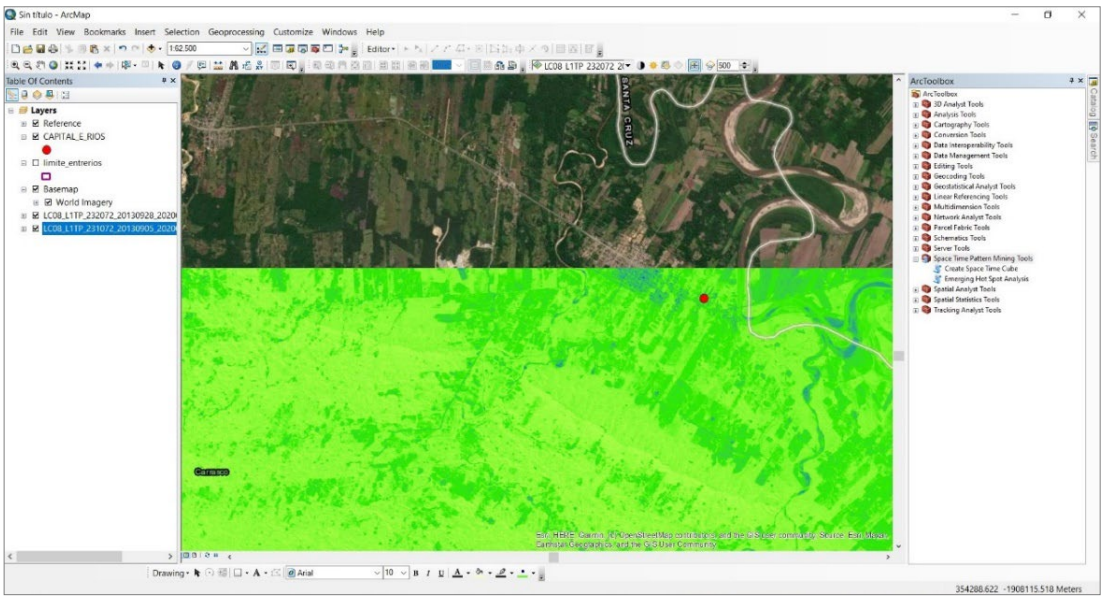
Se ha trabajado con las bandas 2, 3, 4, 5, 6,7, 8 y "las bandas restantes no se las consideró porque almacenan información de la calidad del agua y de las nubes (Bernal & Montes, 2016). La composición para la clasificación fueron con las bandas 6, 5 y 4. Esta

combinación, realza un buen contraste de los cuerpos vegetales y del agua, permitiendo diferenciar diversas unidades que fueron incluidas en la clasificación de imágenes".

Análisis visual de imágenes satelitales. Tal como indica Palacio-Prieto et al. (2004) que la forma más intuitiva de extraer información de imágenes de satélite es mediante la interpretación visual, que está basada en la habilidad que presentan los humanos para relacionar tonos, colores y patrones espaciales que aparecen en una imagen con elementos del mundo real. En este estudio, la interpretación visual se fundamentó en la interpretación de la textura, el tono y el color. Esto ayudó en la comprensión de nuestra área de estudio, pero principalmente en la generación de nuestra leyenda preliminar a nivel jerárquico a través del sistema LCCS.

Este análisis consistió en la identificación de elementos representativos de categorías de uso de suelos y compatibilización con las clases de cobertura y uso de suelo, definido anteriormente con el sistema LCCS. La interpretación se llevó a cabo mediante la superposición en la imagen satelital Landsat 8 con los índices de vegetación (NDVI) y los índices diferenciales de agua normalizados (NDWI), a esto se confrontó con los puntos de control obtenidos en los recorridos en campo que permitió identificar las categorías de uso de suelos.

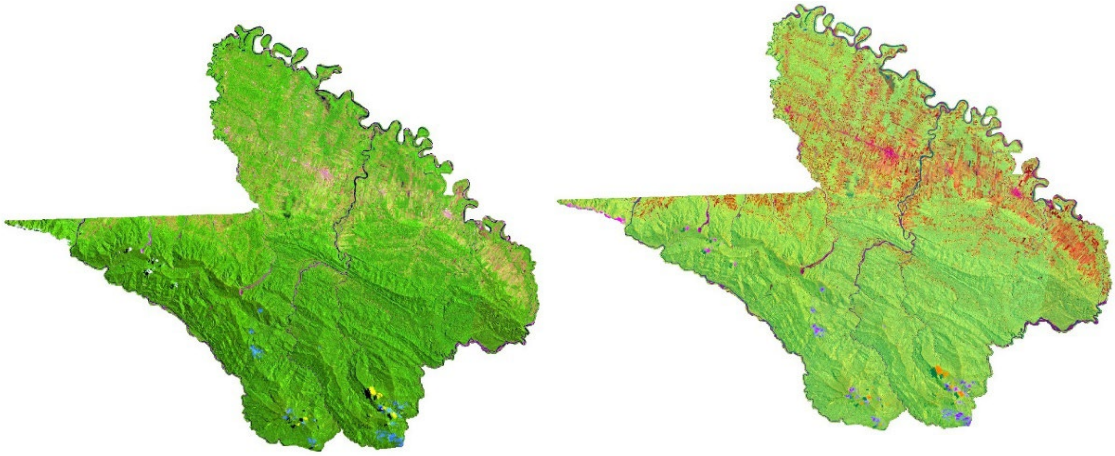
Figura 7: Análisis visual de confrontación de imágenes satélites en ArcGIS



Fuente: Elaboración propia

Se ha realizado el análisis de componentes principales que sirvió como insumo visual para la creación de categorías de uso de suelos, ya que el análisis de componentes principales elimina información redundante entre bandas y así trabajar solamente en los componentes que contengan la información correspondiente a las características (agua, suelo desnudo y vegetación) del área del municipio de Entre Ríos. En la figura 8 se muestra el resultado del análisis de los principales compontes entre las bandas 6, 5 y 4 de las gestiones 2013 y 2022.

Figura 8: Análisis de componentes principales.



Composición de bandas 654 Gestión 2013

Componentes principales bandas 654, Gestión 2022

Fuente: Elaboración propia

Creación de la leyenda en base a LCCS

Una vez realizado el primer viaje de campo de reconocimiento del área de estudio y el análisis visual de imágenes satelitales, se han creado las categorías de uso de suelos en base al Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra (LCCS) de la FAO. Sin embargo, estos han sido contextualizados al enfoque de la tesis y la resolución espacial de las imágenes satelitales. Se ha usado información del análisis visual de imágenes satelitales y puntos del control en campo.

Antes de tomar unidades de muestras geográficas mediante recorridos en campo, se han estandarizado las categorías de cobertura y uso de suelo. Esto se ha realizado en base al Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra (LCCS) de la FAO que se detalla en el acápite del marco teórico. Sabiendo que el sistema LCCS realiza el proceso de

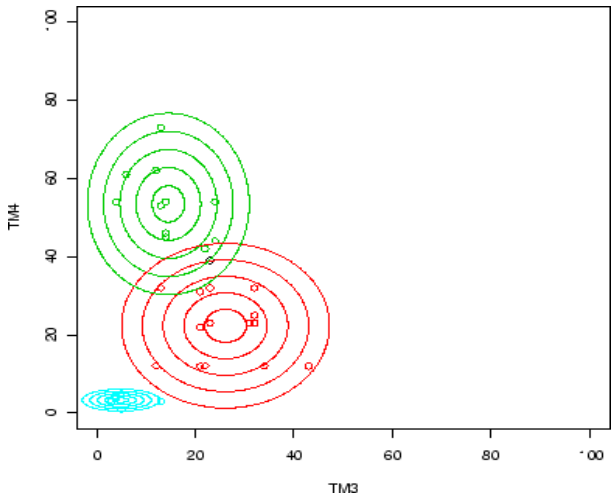
estandarización y minimiza el problema de lidiar con una gran cantidad de clases predefinidas (Di Gregorio, 2005).

Clasificación supervisada y cálculo del cambio de uso de suelos

Se ha determinado el cambio de uso de suelos en categorías de uso ya definidas en base al sistema de LCCS (Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra) y el primer viaje de campo al área de estudio. "Este cálculo de la superficie de uso y cobertura vegetal se obtuvo a partir de la clasificación supervisada de las imágenes satelitales Landsat 8, estableciendo las categorías según el tipo de uso de suelo para los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022". Esto se realizó bajo el criterio: el clasificador de máxima probabilidad asume que los datos siguen una función de distribución normal para asignar la probabilidad de que un pixel cualquiera pertenezca a cada una de las clases. El pixel se asigna de este modo a la clase a la que es más probable que pertenezca.

Este método puede usarse de forma automática, o puede establecerse algún criterio que permita asignar pixeles a una clase, sólo si la probabilidad correspondiente es superior a determinado umbral. Permite, por otro lado, definir algún tipo de criterio para medir la calidad de la asignación, por ejemplo, la diferencia entre la máxima probabilidad y la siguiente. En la figura 9 aparecen una serie de elipses rodeando a cada uno de los centroides, se trata de líneas de isoprobabilidad. Por tanto, el pixel se clasificará como perteneciente a la clase en la que sus valores resulten más probables (Bernal & Montes, 2016.

Figura 9: Clasificación por máxima probabilidad



Fuente: Bernal & Montes (2016)

Cálculo de tasa de cambio de uso de suelos entre los años 2013 - 2023

La determinación de la pérdida o ganancia en el proceso de restauración de los diferentes tipos de vegetación, se obtuvo mediante la construcción de matrices de transición y tasas de cambio para los años considerados en el estudio entre 2013 y 2022, mediante la ecuación 2 desarrollada por la FAO (1996) y adaptada por Palacio-Prieto et al. (2004) denominada como Fórmula matemática cálculo de tasa de cambio de uso de suelos

$$tc = \left[\left({}^{S_2}/_{S_1}\right)^{\frac{1}{n}} - 1\right] x\ 100 \quad (2)$$

Donde:

tc = tasa de cambio (en %)

$S1$ = superficie en la fecha inicial

$S2$ = superficie en la fecha final

n = diferencia de años entre fecha inicial y final

Para describir los cambios de uso del suelo y vegetación, se generó una tabulación cruzada del tiempo 1 (año 2013) y del tiempo 2 (2022), lo cual permite obtener una matriz de cambio. “Este estudio se ha realizado para n = 9 años, y aplicando la ecuación, los resultados de valor positivo de tasa de cambio indican ganancia de superficie, mientras que, a un valor negativo, le corresponde una pérdida en las seis categorías de estudio”.

Proceso de validación

Para la validación se requiere información sobre la “condición real” del uso del suelo en toda el área de estudio. La información puede provenir de dos fuentes:

1. Verificación de campo (Puntos de control en campo)
2. Datos de referencia (Mapas de uso de suelos 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022)

Para este estudio se ha levantado 40 puntos de muestreo en campo de las seis categorías de usos de suelos en planillas estandarizadas, en total se muestreo 240 puntos de control distribuidos sistemáticamente. A esto, se ha añadido 420 puntos de control a través del análisis visual de imágenes satelitales de la gestión 2013 (punto de partida) con esta base de datos se ha realizado los cluster (asignaturas de clases de uso) para la clasificación supervisada de todas las gestiones en estudio.

Para validar la calidad de los mapas de uso de suelos, se ha utilizado la matriz de coincidencia. Es un coeficiente que mide la diferencia entre el acuerdo mapa-realidad observado y el que cabría esperar simplemente por azar. Intenta delimitar el grado de ajuste debido solo a la exactitud de la clasificación, prescindiendo del causado por factores aleatorios. El estadístico mide la diferencia entre la exactitud lograda en la clasificación con un clasificador automático (software) y la probabilidad de lograr una clasificación correcta con una clasificación aleatoria (MINAM, 2014). Según la ecuación 3, fórmula para calcular la matriz de coincidencia

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^{m} X_{ii} - \sum_{i=1}^{m} X_{i\Sigma} X_{\Sigma i}}{N^2 - \sum_{i=1}^{m} X_{i\Sigma} X_{\Sigma i}} \qquad (3)$$

Donde:

m = número total de clases.

N = número total de píxeles en las m clases de referencia.

Xii = elementos de la diagonal de la matriz de confusión.

Xi = suma de los píxeles de la clase i de referencia.

Xi = suma de los píxeles clasificados como la clase i.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se ha puesto énfasis en los conceptos, métodos, técnicas y fundamentación teórica que sustentan la temática principal y están orientados a los objetivos de la tesis.

1.1 Análisis multitemporal y cambio de uso de suelo

Los estudios multitemporales son llevados a cabo con el objeto de detectar cambios entre dos o más fechas de referencia, deduciendo de ahí la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre el medio. Además, son útiles para planificar las medidas adecuadas para evitar su deterioro o asegurar su mejor conservación. "El objetivo de los estudios multitemporales es encontrar una forma de combinar o integrar en el proceso varias imágenes correspondientes a diferentes fechas" (Chuvieco, 1990).

En general, los esfuerzos de analizar y modelar los procesos de cambio de uso del suelo se orientan a responder las siguientes interrogantes: ¿cómo y por qué ocurre el cambio en el uso del suelo?, ¿dónde? Estas tres interrogantes fundamentales son abordadas a través de metodologías apoyadas en el uso de sensores remotos y análisis estadístico espacial (Sandoval et al, 2005). Otro aprovechamiento del análisis multitemporal es que implica el estudio del dinamismo de una determinada zona: espacios urbanos, forestales, áreas de agricultura, entre otros; también permite evaluar fenómenos como inundaciones, incendios forestales, deforestación, así como seguir la evolución de sus efectos (Chuvieco 1990). Además, las series de tiempo derivadas de los estudios con sensores remotos revelan que los cambios de uso del suelo no siempre ocurren de manera progresiva, a veces se pueden presentar periodos episódicos de cambios rápidos y abruptos (Lambin, 2003).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una herramienta fundamental para el análisis multitemporal del uso del suelo. Los SIG, constituyen bases informatizadas de datos con algún componente espacial. La información que almacenan está referenciada geográficamente, ya que se trata de mapas, estadísticas o datos climáticos sobre un territorio concreto, por lo que todas estas variables pueden relacionarse mutuamente de formas muy diversas (ESRI 1998).

1.1.1 Análisis multitemporal

Es el análisis de tipo espacial que se realiza mediante la comparación de las coberturas interpretadas en dos imágenes satelitales o mapas de un mismo lugar en diferentes intervalos de tiempo y que permite evaluar los cambios en la situación de las coberturas que han sido seleccionadas (Chuvieco, 2008, pág. 36).

El objetivo principal de los estudios multitemporales es detectar cambios en la cobertura entre dos fechas de referencia, evidenciando la marcada repercusión de la acción humana sobre los recursos naturales (Vila & Varga, 2008, pág. 52). “Las dinámicas de cambio y uso de la tierra es uno de los procesos globales de cambio e impacto ambiental más importantes en el mundo, estos procesos están vinculados a procesos sociales que operan a múltiples escalas geográficas – temporales y constituyen un contexto importante para los actores que manejan el territorio”.

Analisis bitemporal. “Es un análisis de tipo cualitativo o cuantitativo en el que se emplean solamente imágenes de dos fechas. En esta clasificación se incluyen las técnicas de diferencia de imágenes, proporción de imagen, diferencia de regresión, análisis de vectores de cambios (análisis entre dos imágenes), calidad de datos (cruce de tablas y/o cruce de clasificación), (Eastman, 2003 pág. 390)”.

1.1.2 Cambio de uso de suelo

De acuerdo a Di Gregorio y Jansen, (2000) es el proceso mediante el cual, por presiones debidas a diversos factores, se produce un cambio en las actividades humanas en una determinada área; dando lugar a la eliminación de la masa forestal, siendo muy difícil su recuperación. La cobertura de la tierra y el uso del suelo son conceptos relacionados, pero conceptual y ecológicamente diferentes. Mientras la cobertura de la tierra se refiere a la cubierta biofísica que se observa sobre la superficie, expresada en términos de vegetación, elementos antrópicos existentes, afloramientos rocosos y cuerpos de agua. FAO (2016, pág. 30) afirma que el uso del suelo se refiere a la utilidad que presta un tipo de cobertura al ser humano, a las actividades que las personas ejecutan sobre una superficie para producir, modificarla o mantenerla

Así, el uso se relaciona con las actividades antrópicas o funciones económicas de una porción específica de la tierra como el uso urbano o industrial, de reserva natural, entre otras (Di Gregorio, 2005, pág. 16). Se considera que los patrones de cambio en los usos

o coberturas de suelo de una región, son el resultado de la interacción de factores biofísicos y socioeconómicos con el hombre a lo largo del tiempo y el espacio; y por lo tanto estos cambios de usos de suelo, sus coberturas y sus efectos en el paisaje se pueden revisar mediante la teledetección o sensores remotos, lo que son herramientas que permiten realizar monitoreos temporales mediante el uso de imágenes satelitales o fotos aéreas (FAO, 2011, pág. 50). De aquí en adelante se define términos claves para el estudio.

Lambin et al (2003) resalta la diferencia entre cobertura y uso del suelo. La primera está dada por los atributos biofísicos o antrópicos de la superficie terrestre y lo segundo, está basado en la utilización que el hombre les da a esos atributos; así pues, un área específica puede estar cubierta de pasto (cobertura), pero puede estar siendo usada para ganadería o una cancha de futbol (recreación). También se hace referencia a la magnitud de los cambios, la conversión indica el reemplazo total de una cobertura por otra (café a caña) y la modificación, la cual implica sutiles cambios en la estructura de la cobertura, por ejemplo, la extracción selectiva de especies maderables de un bosque, causa perturbaciones.

- **Bosque**

Tierra que se extiende por más de 0,5 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a cinco metros y una cubierta de copas superior al 10%, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ (FAO, 2011).

- **Cobertura vegetal**

Es la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomasas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana (FAO, 2011)

- **Vegetación arbustiva y herbácea**

Son las áreas compuestas por especies leñosas no arbóreas nativas, incluye zonas en transición a cobertura densa de dosel; mientras que la vegetación herbácea son áreas compuestas por especies nativas con crecimiento espontáneo, que no necesitan de cuidado especial, y sirve para la protección y asentamientos de vida silvestre (FAO, 2011).

- **Bosque Primario**

"Se considera un Bosque primario, cuando su estructura y composición básica, no está afectada por la actividad humana. Sin embargo, un bosque primario, normalmente tienen algún grado de perturbación por factores climáticos o por actividades de uso de los recursos que no interfieren significativamente. Ej. Actividades de caza y pesca, recolección de hojas y frutos" (FAO, 2010).

- **Bosques Secundarios**

Son Bosques no maduros (pastizales) que están en proceso de restauración, producto de procesos de perturbación y remoción del ecosistema original ocasionado por la intervención antrópica donde se procedió al corte o tala del mayor número de árboles o en su totalidad. (FAO, 2010).

- **Arbusto**

Planta leñosa perenne cuya altura generalmente es más baja que la de los árboles y consta de muchos tallos de tamaño similar, que se ramifican de una altura cercana al suelo (Rivera A., 2008, pág. 105).

- **Agricultura**

La agricultura es una actividad llevada a cabo por el hombre que a través de cultivar la tierra, produce alimentos para la población humana. (Rivera A., 2008).

1.1.3 Uso de suelo

"Se caracteriza por los arreglos, las actividades y los insumos de la población para producir, cambiar o mantener un cierto tipo de cobertura". El uso del suelo definido de esta manera establece un vínculo directo entre la cobertura de uso y las acciones de la población en su ambiente (Di Gregorio, 2005, pág. 97)

1.1.4 Deforestación

Es un proceso provocado generalmente por la acción humana, en el que se destruye la superficie forestal, principalmente debido a talas y quemas realizadas por la industria maderera, así como por la obtención de suelo para la agricultura, minería y ganadería.

"Los bosques son ecosistemas de gran importancia puesto que, aparte de ser sumideros de carbono, albergan a millones de personas, de las cuales en su mayoría son pueblos

indígenas originarios, talar árboles sin una eficiente reforestación resulta un serio daño al hábitat, en pérdida de biodiversidad y en aridez. Tiene un impacto adverso en la fijación de gas carbónico (CO^2)". Las regiones deforestadas tienden a una erosión del suelo y frecuentemente se degradan a tierras no productivas (FAO, 2011)

1.1.5 Métodos de análisis de cambio de cobertura de suelo

La literatura sugiere tres criterios de clasificación de los métodos existentes para la detección de cambios de cobertura del suelo. Según Lu et al. (2004), el primero se fundamenta en la técnica empleada para detectar el cambio, mismo que puede estar ligado a un cambio en la reflectividad o en las texturas de la imagen, las cuales son separables y afectadas por las limitaciones espaciales, espectrales, temáticas y temporales e incluye los métodos de:

1. Álgebra de mapas.
2. Transformaciones matemáticas.
3. Post-clasificación.
4. Modelación (evaluación multicriterio y autómatas celulares).

El segundo criterio se basa en la temporalidad de la información (Eastman, 2003) e incluye:

1. Análisis bitemporal (imágenes de dos fechas).
2. Análisis multitemporal (varias fechas o series de tiempo).
3. Predicción de cambios a futuro.

"El tercer criterio de clasificación se fundamenta en el tipo de datos empleados según Chuvieco, (2008, pág. 18) los cuales pueden agruparse en: Análisis de datos continuos y datos categóricos. Los datos continuos incluyen todas las metodologías numéricas tales como: Álgebra de mapas, transformaciones matemáticas y modelación; mientras que los datos categóricos se basan en una post clasificación con matrices de cambio o a través de cadenas de Markov".

1.1.6 Modelos de cambio de uso del suelo

Para responder a la demanda de información sobre los ecosistemas terrestres a diversas escalas, se necesita entender el cambio en el uso de la tierra y cómo estos cambios influyen en la cobertura forestal en el tiempo. Los modelos forman una conexión entre

factores antrópicos y físicos que determinan el uso del suelo y la cobertura forestal, estos a su vez proveen un entendimiento y sientan las bases teóricas para simulaciones y predicción de cambios. Los modelos explican el problema teóricamente, pero no duplican cada detalle del mundo real (Lambin 1994). De esta forma los modelos de dinámica espacial en un paisaje pueden ser utilizados para:

- Describir fenómenos espaciales cuantitativamente
- Predecir estos fenómenos a escala temporal
- Integrar lo espacial y lo temporal

En temas relacionados con procesos de deforestación se integran las escalas espaciales y temporales, ya que por ejemplo el cambio de bosque a otro tipo de cobertura se da en ecosistemas que ocupan unidades territoriales especificas (paisajes), y surge de la comparación entre dos tiempos concretos (tiempo 0 y tiempo 1), (Bocco 2001); de esta forma los modelos pueden responder a preguntas de "¿por qué?", "¿cuándo?" y "¿dónde?" ocurren estos cambios.

1.1.7 Fragmentación del paisaje

La transformación de los bosques húmedos tropicales como resultado del impacto de las actividades humanas, es una de las principales causas de que la diversidad biológica se está perdiendo en el mundo. Los bosques tropicales cubren solo el 7% de la superficie del planeta, pero albergan más de la mitad de la riqueza mundial de especies (Katan, 2002).

Modelos de deforestación y causas subyacentes del cambio de uso del suelo han sido ampliamente estudiados, Kaimowitz et al (1998) encontraron un total de 150 diferentes modelos que tratan de explicar las causas del comportamiento de los propietarios de la tierra y la relación de sus decisiones con el resto de la economía, todo esto con el fin de buscar nuevas formas de estudiar el fenómeno de la deforestación. Una de las principales consecuencias de la deforestación es la creación de paisajes fragmentados, en los que algunos remanentes del bosque original, de tamaños y formas variables, quedan inmersos en una matriz de hábitats transformados. La fragmentación de los ecosistemas del bosque tropical puede entre otros, alterar radicalmente el ambiente físico y el clima; al reemplazar la cobertura boscosa por potreros o cultivos, se puede provocar un aumento en la temperatura superficial del suelo y una disminución en la evapotranspiración y en la precipitación (Kattan 2002).

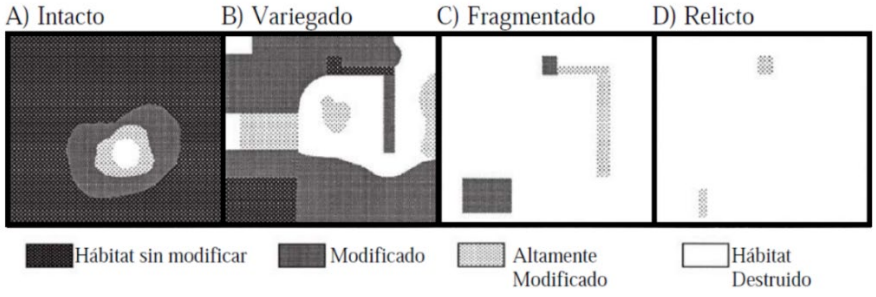
Procesos de fragmentación, de acuerdo con Fahrig (2003), la fragmentación es definida como el proceso durante el cual "una gran extensión de hábitats es trasformados en un número menor de parches de una menor área total, aislados unos de otros por una matriz de hábitats diferente a la original". McIntyre & Hobbs (1999), definen cuatro categorías de estado de alteración del paisaje basadas en el grado de destrucción del hábitat, que se ilustra en la figura 10 y tabla 3.

Tabla 3: Tipos y grados de alteración de los paisajes.

Tipos de alteración	Grado de destrucción del hábitat (% de remanencia)	Conectividad del hábitat remanente	Grado de modificación del hábitat remanente	Patrón de modificación del hábitat remanente
Intacto	Poco o ninguno (>90)	Alto	Generalmente bajo	Mosaico con gradientes
Variegado	Moderado (60-90)	Generalmente alto, pero bajo para especies sensitivas a la modificación del hábitat	De bajo a alto	Mosaicos que pueden tener gradientes
Fragmentado	Alto (10-60)	Generalmente bajo, pero varia con la movilidad de las especies y el arreglo espacial del paisaje	De bajo a alto	Gradientes con fragmentos menos evidentes
Relictual	Extremo (<10)	Ninguno	Ninguno	Generalmente Uniforme

Fuente: McIntyre & Hobbs (1999)

Figura 10: Los cuatro estados de alteración del paisaje



Fuente: McIntyre & Hobbs (1999)

1.2 Sistemas de clasificación de la cobertura de la tierra

"La clasificación es una representación abstracta de la situación real en campo utilizando criterios de diagnóstico bien definidos: Los clasificadores del sistema LCCS. Sokal (1974), la definió como: el arreglo u ordenamiento de objetos en grupos o conjuntos sobre la base de sus relaciones. Una clasificación describe el esquema sistemático con los nombres de las clases y los criterios utilizados para distinguirlos, y la relación entre clases. Por lo que la clasificación requiere la definición de límites de clase, los cuales deben ser claros, precisos, en lo posible cuantitativos, y basados en criterios objetivos".

1.2.1 Land Cover Classifications Systems (LCCS)

"Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra (LCCS) ha sido desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente (UNEP) con el objetivo de satisfacer las necesidades de un acceso mejorado a información confiable y estandarizada de la cobertura de la tierra y cambios que en ella ocurren. LCCS es un sistema de clasificación comprensivo, estandarizado a priori, diseñado para satisfacer requerimientos específicos de los usuarios, y creado para ejercicios de mapeo independientemente de la escala o medidas utilizadas para el mapeo. Facilita la comparación entre clases de cobertura sin importar la fuente de datos, la disciplina temática o el país".

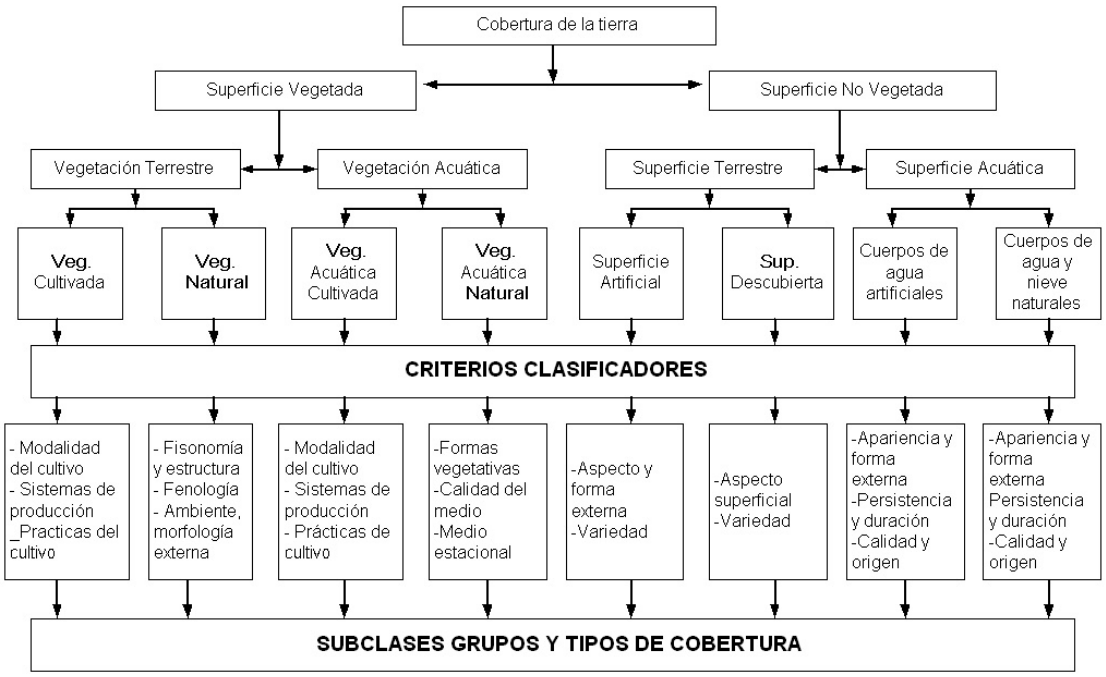
El sistema LCCS realza el proceso de estandarización y minimiza el problema de lidiar con una gran cantidad de clases predefinidas (Di Gregorio, 2005, pág. 81). Tiene dos fases principales. La fase inicial Dicotómica, tiene ocho tipos principales de cobertura de la tierra.

- Áreas terrestres cultivadas y Manejadas
- Vegetación terrestre natural y seminatural
- Áreas acuáticas cultivadas o regularmente inundadas
- Vegetación acuática o regularmente inundada natural y seminatural.
- Superficies artificiales y áreas asociadas
- Áreas Descubiertas
- Cuerpos de agua artificial, nieve y hielo
- Cuerpos de agua Naturales, nieve y hielo

"Segunda Fase Modular Jerárquica, en la cual las clases de cobertura de la tierra son creadas por la combinación de conjuntos de clasificadores predefinidos. Estos clasificadores están dirigidos a cada uno de los ocho tipos de cobertura de la tierra principales". Las clases de la cobertura está definida por:

- Una fórmula Booleana que muestra cada clasificador utilizado (todos los clasificadores están codificados);
- Un número único para el uso en un Sistema de Información Geográfica (SIG)
- Un nombre, que puede ser el nombre estándar dado o uno definido por el usuario (Di Gregorio, 2005).

Figura 11: Matriz para la clasificación de cobertura y uso de la tierra



Fuente: Elaborado a partir de las ventanas del Programa LCCS por Guerra 2016.

1.2.2 Índices de cambio propuestos por Pontius et al. (2004)

Tradicionalmente, la localización y cuantificación de los cambios de la ocupación del suelo se realizan a través de una sobreposición cartográfica y una matriz de transición, generando de esta manera mapas y tablas de cambio que permiten identificar la magnitud y distribución espacial de la dinámica del cambio, aunque es una técnica de análisis muy extendida, la matriz de transición, en muchos casos, no es analizada a profundidad, ya

que a veces los análisis llevados a cabo con estos datos pueden llevar a entendimientos erróneos acerca de la dinámica de los cambios de uso del suelo.

Por este motivo, en el presente trabajo se agrega información adicional para ganar en un conocimiento más profundo concerniente a los procesos potenciales que determinan un patrón de cambio de cobertura del suelo. Así, Pontius et al, (2004) propusieron un método basado en la matriz de transición, que busca representar la base para la obtención de información que parta de un nivel de análisis general hasta acercarse al nivel detallado de los cambios producidos en el territorio (ganancia, pérdida, intercambio, persistencia, cambio neto y cambio total), al comparar los cambios observados y esperados (irreales o debidos al azar) para un grado de persistencia dado.

Los cambios observados y esperados conseguir averiguar cuándo hay un proceso aleatorio de ganancia y cuando uno de pérdida, a través de obtener una diferencia (en % del área total) y un cociente (magnitud más allá del azar), si la diferencia entre el porcentaje observado y esperado es positiva, las categorías de t1 pierden más que lo esperado en un proceso aleatorio de ganancia; si es negativo, las mismas categorías del t1 pierden menos.

Tabla 4: Matriz de transición con ganancias y pérdidas

Tiempo 1	**Tiempo 2**				**Total, tiempo 1**	**Perdidas**
	Categoría 1	**Categoría 2**	**Categoría 3**	**Categoría 4**		
Categoría 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
Categoría 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
Categoría 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}	P_{3+}	$P_{3+} - P_{33}$
Categoría 4	P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}	P_{4+}	$P_{4+} - P_{44}$
Total, tiempo 2	P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+4}	1	
Ganancias	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+22} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+4} - P_{44}$		

Los índices de cambio propuestos por Pontius *et al*. (2004) tenemos:

"La ganancia (G_{ij}), la cual indica la proporción del paisaje que experimenta un aumento entre la fecha inicial (t1) y la fecha final (t2), y que se calcula obteniendo la diferencia entre la columna del total del tiempo 2 ($P+j$) y la persistencia" (Pjj): Según la ecuación 1.1. Cálculo de ganancia de paisajes eje o uso de suelo

$$Gij = P+j - Pjj \quad (1.1)$$

"La pérdida (Lij), que representa la proporción del paisaje que decrece entre ambas fechas, se obtienen calculando la diferencia entre la fila del total del tiempo 1 ($Pj+$) y la persistencia" (Pjj): Según la ecuación 1.2 Cálculo de pérdidas

$$Lij = Pj+ - Pjj \quad (1.2)$$

El intercambio (Sj) entre categorías, este concepto involucra simultáneamente ganancia y pérdida de una categoría de ocupación sobre el paisaje, se da cuando la localización de una categoría de ocupación cambia entre dos fechas, mientras su superficie permanece constante, es decir, que por cada unidad de ganancia de una categoría hay la misma cantidad de pérdida para otra, se calcula como dos veces el valor mínimo de las ganancias y las pérdidas. Esto se calcula con la ecuación 1.3 Cálculo de intercambio entre categorías de uso de suelos

$$Sj = 2\ x\ MIN\ (Pj+ - \ , P+j, - Pjj\ ) \quad (1.3)$$

La persistencia (Pij), la cual es la cantidad de superficie de las diferentes clases que se mantuvieron estables durante los diferentes tiempos estudiados (esta es importante en el análisis de cambios de usos, en el sentido de que diversos estudios demuestran que lo estable es lo que predomina en la naturaleza, aun en zonas muy dinámicas), y que puede ser obtenida a partir de la diagonal principal de la matriz.

El cambio total (DTj), "el cual es la suma de todas las proporciones del paisaje que cambiaron, mientras que el cambio neto (Dj) indica un cambio definitivo sobre el paisaje, por cuanto representa la diferencia entre el cambio total y el intercambio, dada en valores absolutos". Según la ecuación 1.4 Cálculo de cambio total

$$DTj = (Gij + Lij)$$

$$Dj = |DTj - Sj| \quad (1.4)$$

"Adicionalmente, para reconocer si los cambios producidos entre las categorías corresponden a transiciones sistemáticas, es necesario determinar si estas ganancias y pérdidas son significativas. Para ello se construyen dos matrices denominadas de transición sistemática: una en función de las ganancias y otra en relación con las pérdidas. Lo que se obtiene con estas matrices es la distribución de la ganancia o pérdida de cada categoría entre las demás de acuerdo con la proporción relativa que cada categoría debió presentar en el t2 si el cambio fuera producto de un proceso aleatorio. Finalmente, para

identificar si los valores de la matriz de transiciones sistemáticas son significativos, se considera la diferencia entre los valores observados (matriz de cambios) y los valores esperados (matriz de transiciones sistemáticas)".

"En el caso de las ganancias, se asume que la ganancia de cada categoría y la proporción de cada categoría en el t2 son fijas, para después distribuir la ganancia a través de las otras categorías, según la proporción relativa de las otras categorías en el t1, donde G_{ij} es la transición esperada de la categoría i para la categoría j debido a un proceso aleatorio de ganancia, $P_{+j} - P_{jj}$ es la ganancia total observada de la categoría j, P_{i+} es el tamaño de la categoría i en el t1 y P_{i+} es la suma de los tamaños de todas las categorías excluyendo a la categoría j en el t1". Según la ecuación 1.5. Cálculo de ganancias y proporción de cambio

$$G_{ij} = \frac{\left(P_{+j} - P_{jj}\right) x\ P_{i+}}{1 - P_{+i}} \quad (1.5)$$

"Para el cálculo de las pérdidas el procedimiento es similar al anterior, donde se asume que la pérdida de cada categoría es fija, y luego se distribuye la pérdida a través de las demás categorías según la proporción relativa de las otras categorías con el t2, donde Lij es la transición esperada de la categoría i para la categoría j debido a un proceso aleatorio de pérdida, $Pi+ - Pii$ es la pérdida total observada de la categoría i entre los dos tiempos $P+j$ es el tamaño de la categoría j en el t2, y $1 - P+i$ es la suma de los tamaños de todas las categorías excepto la categoría i en el t2". Esto se calcula según la ecuación 1.6. Cálculo de pérdidas y proporción de cambio

$$L_{ij} = \frac{(P_{i+} - P_{ii})\ x\ P_{+j}}{1 - P_{+j}} \quad (1.6)$$

1.2.2.1 Matrices de transición

"Las matrices de transición son parte de una metodología útil para identificar los procesos de cambio en la cobertura y uso del suelo, estas se obtienen a través de sobreponer al menos dos mapas de cobertura/uso del suelo de fechas diferentes y analizar los datos resultantes a través del acomodo matricial de los mismos, con lo que se permite identificar de manera eficiente los cambios entre categorías, dicha matriz se ordena de tal forma, que

la categorías de fecha inicial (t1) se acomodan en los renglones y las categorías de fecha final (t2) en las columnas, con lo cual solo la diagonal de la matriz muestra la cantidad total del paisaje estable entre una fecha y otra, y el resto corresponde a todas las combinaciones posibles de intercambio entre categorías".

1.2.2.2 Tasas de cambio de cobertura/uso de suelo

"La tasa de cambio es un indicador de presión que permite conocer la magnitud y velocidad con que se está presentando este proceso, su evaluación es necesaria para conocer la dinámica y magnitud del cambio, así como sus efectos".

1.2.3 Clasificación y leyenda

"Una clasificación es una representación abstracta de la situación a campo aplicando criterios diagnósticos definidos o clasificadores. Sokal (1974) la define como "el ordenamiento o arreglo de los objetos en un conjunto o grupo en base a sus relaciones". Una clasificación describe la estructura sistemática con el nombre de las clases y el criterio utilizado para distinguirlas, y la relación entre ellas. Por tanto, requiere la definición de los límites de clase claros, precisos, de preferencia cuantitativa y basada en criterios objetivos". Por lo tanto, una clasificación debería ser:

- Independiente de la escala, en el sentido de que las clases deberían ser aplicables a cualquier escala o nivel de detalle
- Independiente de la fuente, es decir, de los medios utilizados en la obtención de la información, sean imágenes satelitales, fotografías aéreas, relevamientos a campo o combinación de ellos.

"Una leyenda es la aplicación de una clasificación en un área específica utilizando una escala de mapeo definida y un conjunto de datos específicos contenidos en la información relevante recogida en campo o a través del conocimiento o experiencia. Esta contiene solo una pequeña proporción de las características de todas las clases posibles de la clasificación, siendo dependiente de la escala cartográfica representada, de los datos y metodología de mapeo" (Di Gregorio, 2005). Por lo tanto, una leyenda puede contener sólo una parte o subconjunto de todas las clases posibles en una clasificación". Así, una leyenda es:

- "Dependiente de la escala y representación cartográfica, por ejemplo, comprender unidades de mapeo mixto si los elementos que la componen son demasiado pequeños para ser delimitados independientemente", y
- "Dependiente de los datos y de la metodología de mapeo, por ejemplo, una fotografía aérea muestra diferentes características comparadas con una imagen satelital en falso color compuesto".

1.3 Teledetección

La teledetección (o percepción remota) es una técnica mediante la cual se pueden obtener imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en vehículos de navegación aérea, en la que intervienen componentes como la energía, los elementos de la superficie terrestre y de la atmosfera, los sistemas sensores y finalmente, los sistemas de recepción de la información (Vila & Varga, 2008). El principio fundamental de la percepción remota engloba el posterior tratamiento de las imágenes, en el contexto de una determinada aplicación con el fin de obtener información que ayude a resolver interrogantes, y plantear métodos predictivos y preventivos para cualquier problemática (Chuvieco, 2008). La teledetección es aquella técnica que nos permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre. Para que esta observación remota sea posible, es preciso que entre los objetos y el sensor, exista algún tipo de interacción (Chuvieco, 2008), y el resultado usualmente, pero no necesariamente, es almacenado como una imagen (fuente de datos). Para esto se requiere al menos, tres componentes: foco energético, superficie terrestre y sensor (Bakker; Jansen, 2001).

Una de las formas de clasificarlos es el procedimiento de recibir la energía procedente de las distintas cubiertas y ellos son: (1) Pasivos, cuando se limitan a recibir la energía proveniente de un foco exterior a ellos, y (2) Activos, cuando son capaces de emitir su propio haz de energía (Chuvieco, 2008).

1.3.1 Fundamentos físicos de Sensores Remotos

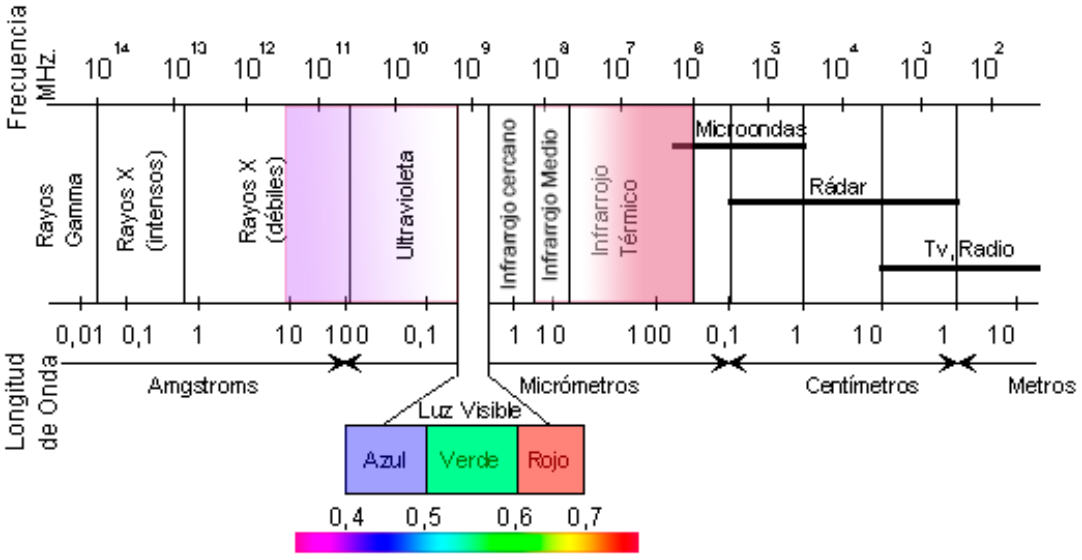
La teledetección es una herramienta de aparición relativamente reciente, la cual permite adquirir datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas aeroespaciales como aviones, satélites, radares y naves espaciales, entre otros (Chuvieco, 2008). Con esta técnica se obtiene información de diferentes partes del espectro electromagnético, propiedades de fenómenos, objetos o materiales, a través de un

dispositivo tecnológico sensible que permite que ocurra una interacción entre el terreno y un sensor sin contacto físico y bajo vigilancia (Khorram, Koch, Van Der Wiele, Nelson, 2012).

La teledetección se basa en la medición de la energía electromagnética (EM) que interactúa con la superficie de la tierra (Short, 2010; Khorram *et al*, 2012). "Todo cuerpo con temperatura irradia energía electromagnética en diferentes longitudes de onda. Según la teoría ondulatoria la energía electro-magnética se transmite en el espacio, mediante un modelo armónico y continuo, a la velocidad de la luz (c=299.792.458 m/s) y tiene dos campos de fuerzas perpendiculares entre sí: eléctrico y magnético. Las características de este flujo se definen como longitud de onda (λ) y frecuencia (F), así a mayor longitud de onda, o menor frecuencia, el contenido energético será menor o viceversa" (Chuvieco, 2008).

El espectro electromagnético se refiere a todo el rango de longitudes de onda, y va desde los rayos gamma hasta las ondas de radio. El espectro electromagnético se divide en regiones de acuerdo con la longitud de onda, de esta manera: la luz visible que se encuentra dentro del rango de sensibilidad espectral del ojo humano, los rayos cósmicos, gamma (γ), los rayos X, ultravioleta, infrarrojo (que se divide en infrarrojo próximo, medio y térmico), microondas y ondas de radio (Parra, 2014), como se muestra en la figura 12.

Figura 12: Espectro electromagnético

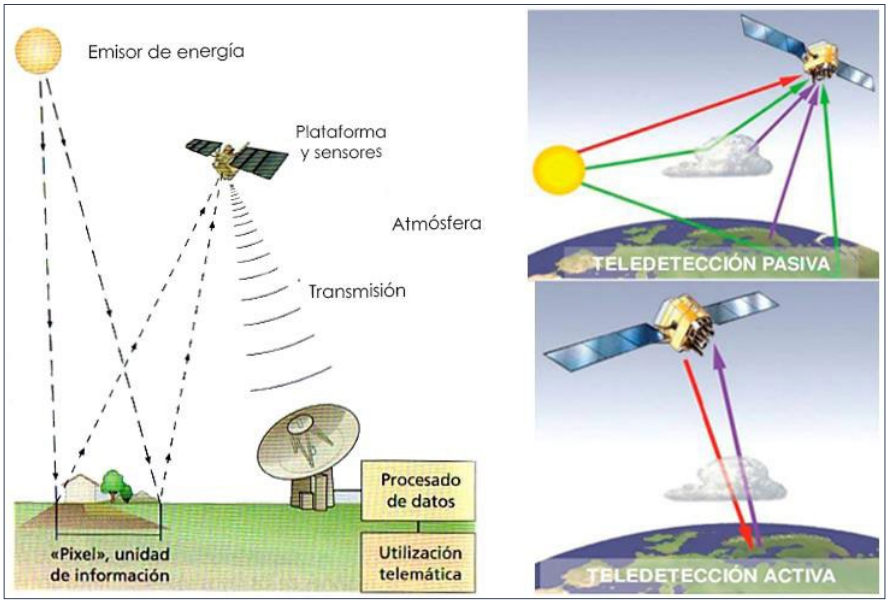


Fuente: Parra, (2014)

Un sistema de teledetección espacial incluye una fuente de energía, una cubierta terrestre, un sistema sensor, un sistema de recepción-comercialización, un intérprete y un usuario final. Los sensores se pueden clasificar en pasivos o activos, dependiendo de la emisión o no de energía. Los pasivos captan la energía proveniente del sol que reflejan los objetos o que es emitida por la superficie terrestre, de ellos se obtienen imágenes satelitales y fotografías aéreas".

Los sensores activos generan y emiten su propia energía, la cual, posteriormente es reflejada por la tierra y captada por el sensor. Dentro de estos se encuentra la tecnología LiDAR y radar (Chuvieco, 1995; Jensen, 1996), como se muestra en la Figura 13. En el presente trabajo se emplearon como sensores remotos imágenes satelitales del sensor Landsat y ortofotografías.

Figura 13: Sistema de teledetección



Fuente: Chuvieco (1995),

1.3.1.1 Radiación electromagnética

"La luz visible, es solo una de las muchas formas de energía electromagnética. Así, las ondas de radio, el calor, los rayos ultravioletas o rayos X, son formas comunes". Todas estas formas de energía, radian de acuerdo la teoría básica de ondas o teoría ondulatoria, que describe como la energía electromagnética viaja con forma sinusoidal a la velocidad de la luz: Se calcula según la ecuación 1.7. Radiación electromagnética

$$\mathbf{C = v\,\lambda} \qquad (1.7)$$

Donde:
C: Constante $3x10^8$ m/s
V: Frecuencia
λ: Longitud de onda

En teledetección, lo normal es caracterizar a las ondas electromagnéticas por su longitud de onda en micras, es decir, por l posición que ocupan dentro del espectro electromagnético (Lillesand et al, 1994)

1.3.1.2 Reflexión de la superficie terrestre

Cuando la energía electromagnética incide sobre los cuerpos situados en la superficie terrestre (E_I), esta puede descomponerse en tres términos: uno de reflexión (E_R), de absorción (E_A) y otro de transmisión (E_T). "Sí pues, aplicando el principio de conservación de la energía, podemos establecer la relación existente entre estas tres interacciones de la energía". Según la ecuación 1.8. Reflexión de la superficie *(1.8)*

$$\mathbf{E_I\ (\lambda) = E_R\ (\lambda) + E_A\ (\lambda) + E_T\ (\lambda)}$$

Esta ecuación es la reflexión en la superficie terrestre: espectro solar

"Donde Er denota la reflejada, EA la absorbida y ET la transmitida, siendo todas dependientes de la longitud de onda".

"La fracción de energía reflejada en una longitud de onda particular, varía con los diferentes elementos del suelo y la reflectancia de cada uno de los elementos varía a diferentes longitudes de onda. Por tanto, dos elementos que son indistinguibles en un campo espectral pueden ser muy diferentes en otra banda de longitud de onda" (Chuvieco, 1995).

1.3.1.3 Reflectividad espectral

De cara a la identificación de objetos y procesos en la superficie terrestre, lo que nos interesa es la reflectividad de estos objetos respecto a las diferentes longitudes de onda. Cada tipo de material, suelo, vegetación, agua, etc. Reflejará la radiación incidente de forma distinta, lo que permitirá distinguirla de los demás si medimos la radiación reflejada.

Para comprender la reflectividad es necesario comprender las principales definiciones sobre los elementos que están en la cobertura y el uso de suelos:

- **Vegetación**

"Las curvas de reflectividad espectral para la vegetación casi siempre manifiestan los picos – valles. Los valles en la región del visible vienen dados por pigmentos en las hojas de las plantas. La clorofila por ejemplo absorbe energía fuertemente en las bandas centradas en 0,45 y 0,67 um. Es por ello que los ojos perciben una vegetación sana con color verde, debido a la gran absorción en azul y rojo por las hojas y la alta reflexión en el verde. Cuando la vegetación está sana, disminuye la clorofila y el resultado es una absorción en el rojo y el azul, a menudo incrementando la reflectividad espectral en el rojo por lo que se ve las hojas de tono amarillento" (Alonso 2006).

- **Suelo**

"Casi sin variación espectral, los principales factores que afectan a la reflectividad espectral de los suelos son: humedad, textura, rugosidad, presencia de óxidos de hierro y materia orgánica". Por ejemplo, la presencia de humedad hace decrecer la reflectividad espectral, al igual que la rugosidad, materia orgánica y la presencia de óxidos de hierro, estos últimos principalmente en el visible (Chuvieco, 2008)

- **Agua**

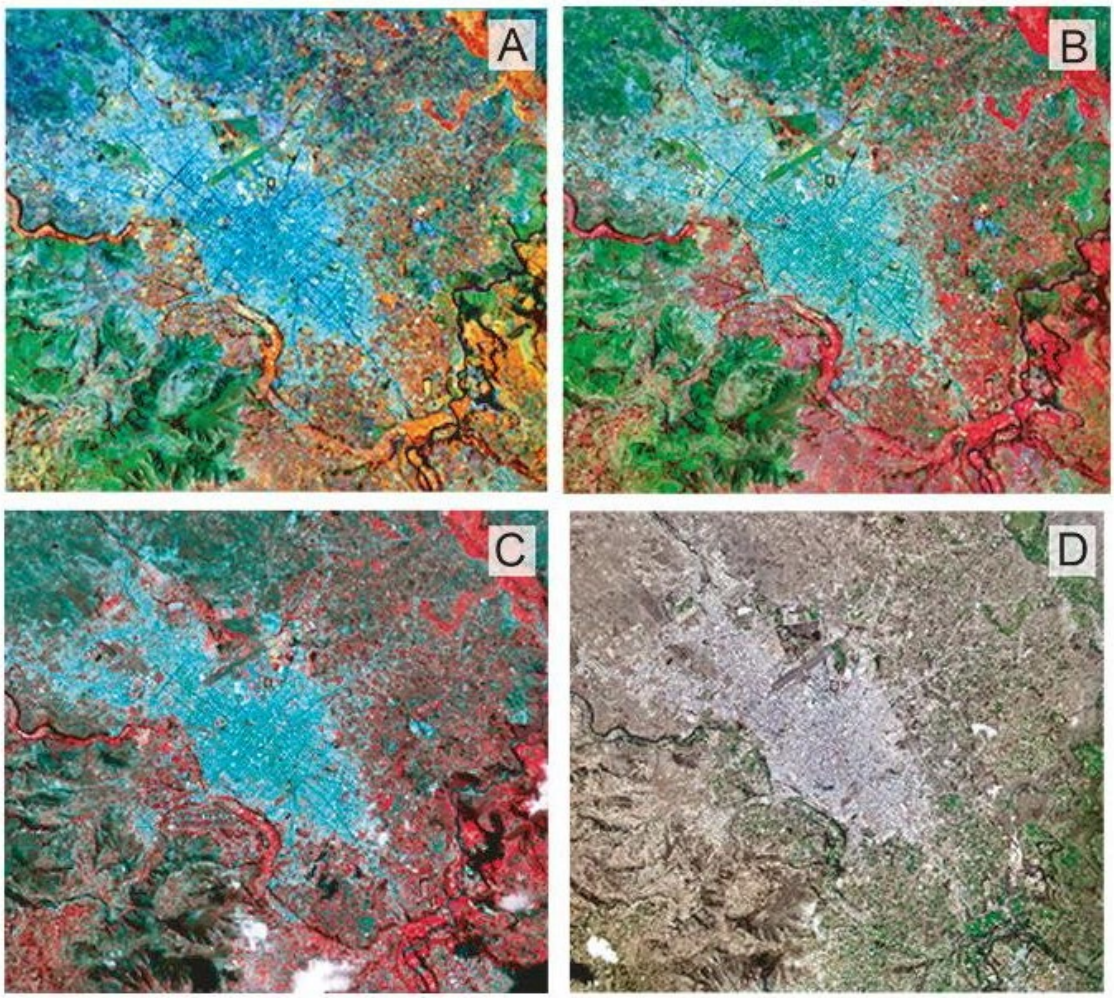
Esta transmite la mayor parte de la energía visible que incide en ella, absorbiendo más, cuanto mayor es la longitud de onda de la radiación incidente. La mayor reflectividad del agua clara está en entorno azul, disminuyendo cuando alcanza el infrarrojo próximo. De ahí la facilidad a estas longitudes de onda de distinguir la línea de la costa. (Roy et al, 1977). La variabilidad del agua se detecta mejor en longitudes de onda más cortas (azul y verde) y está relaciona con la profundidad, el contenido de materiales en suspensión y rugosidad de la superficie. Así la actividad espectral aumenta en aguas poco profundas (Chuvieco, 2008).

1.3.2 Imágenes satelitales

Las Imágenes Satelitales están confeccionadas por matrices, en las que cada celda representa un píxel, las dimensiones de este píxel dependerá de la Resolución espacial del sensor. "Los sensores registran la radiación electromagnética que proviene de las distintas

coberturas y las almacena en cada píxel, de acuerdo a los intervalos de longitudes de onda, en las que este programado el sensor para captar; esta energía electromagnética es representada en cada píxel por un valor digital al cual se le agrega una tonalidad, este valor es llamado Nivel Digital (ND). La cantidad de niveles digitales que se podrá representar dependerá de la Resolución Radiométrica del sensor, para un sensor con Resolución Radiométrica de 8 bit los niveles digitales varían entre 0 y 255, siendo en la escala de grises el cero igual al color negro y el 255 igual al color blanco. (Soluciones Integrales en Geomatica, 2022). "La información que se obtiene de las distintas bandas de las imágenes satelitales, son de gran ayuda en diversos ámbitos o análisis tales como: en la Agricultura y recursos forestales, Uso de suelo, Geología, Recurso de agua y Medio ambiente".

Figura 14: Ejemplos de imágenes satelitales



Nota: A) Imagen Landsat8: composición 5-6-4. Fuente: https://app.climateengine.org/climateEngine. B) Imagen Sentinel2: composición 8-11-4. Fuente: Composito Año 2019-2020 https://app.climateengine.org/climateEngine. C) Imagen ASTER: composición 3-2-1. Fuente: Año: 2017 https://gbank.gsj.jp/madas/map/index.html. D) Imagen "basemap": color natural RGB 1-2-3. Fuente: SASPlanet. Año 2019-2020

1.3.3 Tipos de imágenes satelitales

Según Gozanles, (2012, pág. 38) existen tres tipos de imágenes satelitales que son captadas mediante un sensor digital a bordo de satélite.

- **Imágenes pancromáticas**. "Miden la reflectancia en una parte de espectro electromagnético, esta banda suele abarcar la parte visible y de infrarrojo cercano del espectro. Los datos de estas imágenes se representan por medio de imágenes en blanco y negro, con este prototipo de imágenes se puede detectar, identificar y medir accidentes superficiales y objetos principalmente por su apariencia física, es decir por su forma, tamaño y orientación".
- **Imágenes multiespectrales**. "Capturan los niveles de radiancia que provienen de la superficie de la tierra".
- **Imágenes hiperespectrales**. "Miden la reflectancia en muchas bandas que permite detectar especialmente en lo que se refiere a vegetación, suelos y rocas. Cabe señalar que las imágenes hiperespectrales se parecen a fotografías".

1.3.4 Características técnicas de imágenes Landsat 8

"La misión Landsat ofrece diferentes imágenes satélites acotadas a momentos temporales y bajo resoluciones de pixel diferente. Desde la misión Landsat 1, hasta la actual Landsat 8, existe un repertorio histórico de lo más variado. En función de la franja temporal de análisis, se dispuso de las siguientes misiones Landsat":

- Landsat 1: Julio 1972 - Enero 1978
- Landsat 2: Enero 1975 - Febrero 1982
- Landsat 3: Marzo 1978 - Marzo 1983
- Landsat 4: Julio 1982 - Diciembre 1993
- Landsat 5: Enero 1984 - Enero 2013
- Landsat 7: Enero 1999 - Actualidad
- Landsat 8: Abril 2013 - Actualidad
- Landsat 9: Febrero de 2022 – Actualidad

“Las misiones Landsat 7 y Landsat 8 son las actualmente vigentes para la descarga diaria de imágenes. La adquisición de sus imágenes, o resolución temporal, es de 16 días. Por tanto, se dispondrá de una nueva imagen satélite actualizada para la misma zona de trabajo cada dos semanas aproximadamente”.

Landsat 8 es un satélite de observación terrestre lanzado el 11 de febrero de 2013. Operado por la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) desde 1972. El satélite Landsat 8 transporta dos instrumentos OLI y TIRS, que corresponden a las siglas en inglés para Operational Land Imager (OLI) y Thermal Infrared Sensor (TIRS). El sensor OLI provee acceso a nueve bandas espectrales que cubren el espectro desde los 0.433 μm a los 1.390 μm, mientras que TIRS registra de 10.30μm a 12.50μm (longitud de onda μm)” (Soluciones Integrales en Geomatica, 2022)

Imágenes Landsat: son imágenes que están compuestas por 7 bandas multiespectrales que van desde niveles visibles hasta el infrarrojo medio, con una resolución de 30 metros, en la mayoría de ellas. Las principales aplicaciones de estas imágenes se centran en la identificación y clasificación de las distintas cubiertas que existen en la superficie terrestre, determinación de humedad del suelo, clasificación de la vegetación, mapas hidrotermales y estudios multitemporales. A las imágenes del satélite Landsat 8 se incorporan dos nuevas bandas espectrales: un canal profundo en el azul visible (banda 1), diseñado específicamente para los recursos hídricos e investigación en zonas costeras, y un nuevo canal infrarrojo (banda 9) para la detección de nubes cirrus. “Adicionalmente una nueva banda de control de calidad se incluye con cada producto de datos generado. La descripción detallada de las características que proporciona información más detallada sobre la presencia de características como la nubosidad, agua y nieve”. (Soluciones Integrales en Geomatica, 2022).

Tabla 5: Características de las imágenes Landsat 8

	Banda	Nombre	Longitud de Onda (µm)	Resolución (m)
Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)	1	Aerosol - Costero	0.435 - 0.451	30
	2	Azul	0.452 - 0.512	30
	3	Verde	0.533 - 0.590	30
	4	Rojo	0.636 - 0.673	30
	5	Infrarrojo cercano (NIR)	0.851 - 0.879	30
	6	Infrarrojo de onda corta 1 (SWIR 1)	1.566 - 1.651	30
	7	Infrarrojo de onda corta 2 (SWIR 2)	2.107 - 2.294	30
	8	Pancromática	0.503 - 0.676	15
	9	*Cirrus*	1.363 - 1.384	3
February 11,2013	10	(TIR 1)	10.60 - 11.19	100
	11	(TIR 2)	11.50 - 12.51	100

Fuente: USGS (United States Geological Survey)

A continuación, según Soluciones Integrales en Geomática, (2022), "se muestra un resumen de algunas combinaciones de bandas más comunes, aplicadas para Landsat - 8. Se muestra como rojo, verde, azul" (RGB).

Tabla 6: Combinaciones de bandas de imágenes satelitales landsat

DESCRIPCIÓN	BANDAS
Color natural	4-3-2
Falso color urbano	7-6-4
Color infrarrojo (vegetal)	5-4-3
Agricultura	6-5-2
Penetración atmosférica	7-6-5
Vegetación saludable	5-6-2
Tierra / agua	5-6-4
Natural con remoción atmosférica	7-5-3
Infrarrojo de onda corta	7-5-4
Análisis de vegetación	6-5-4

Fuente: Soluciones Integrales en Geomática, (2022)

Para el análisis del bosque se pretende resaltar la cobertura vegetal, por lo que la combinación utilizada fue (5, 6, 2). Esto quiere decir que a la banda 5 se le asigna el canal de color rojo; a la banda 6, el color verde y a la banda 2, el color azul. Donde la vegetación resalta en tonos de rojo y la deforestación en tonos de verde. Usando esta combinación de bandas, también resalta la diferenciación de tierra/agua. Además, lo que ayuda a una buena discriminación.

1.3.5 Interpretación digital de imágenes satelitales

En el proceso de clasificación digital de imágenes el operador instruye a la computadora que realice una interpretación de acuerdo a ciertas condiciones predefinidas. Esta técnica forma parte de la interpretación digital de imágenes (Bekker, 2001). "Tradicionalmente se han dividido los métodos de clasificación en dos grupos: supervisado y no supervisado, de acuerdo a la forma en que son obtenidas las estadísticas de entrenamiento. El método supervisado parte de un conocimiento previo del terreno, a partir del cual se seleccionan las muestras para cada una de las categorías. Por su parte, el método no supervisado procede a una búsqueda automática de grupos de valores homogéneos dentro de la imagen" (Chuvieco, 2008).

1.3.5.1 Clasificación Supervisada

"Esta es realizada por un operador que define las características espectrales de las clases, mediante la identificación de áreas de muestreo (áreas de entrenamiento). Se requiere también que el operador esté familiarizado con el área de interés" (Chuvieco, 2008) Este método de entrenamiento requiere un cierto conocimiento de la zona de estudio que permite delimitar sobre la imagen unas zonas o áreas representativas de las distintas categorías que se pretenden discriminar. A partir de estas áreas, el ordenador calcula diversos parámetros estadísticos de los ND que definen cada clase, para luego clasificar el resto de píxeles en una categoría determinada atendiendo a sus ND.

Resulta adecuado seleccionar varias áreas de entrenamiento por clase para reflejar correctamente su variabilidad en la zona de estudio ordenador debe proceder a calcular las estadísticas elementales de cada categoría: media, rango, desviación típica, matriz de varianza covarianza, etc., a partir de los ND de todos los píxeles incluidos en el área de entrenamiento de dicha clase.

Este cálculo es aplicado a cada banda espectral. Las medidas extraídas a partir de los ND de cada área de entrenamiento definen a cada clase, por lo tanto, es muy importante su correcta selección ya que de otro modo se forzaría al ordenador a clasificar áreas heterogéneas. (Yébenes; Giner, 2012).

En la clasificación supervisada, los valores espectrales de las diferentes coberturas, son computados empleando sitios de entrenamiento, que generalmente corresponden a sitios, que han sido previamente muestreados en campo. En la clasificación no supervisada, el

software de procesamiento de imágenes, computa automáticamente los valores de las diferentes coberturas, agrupándolas en acorde a su valor espectral. Finalmente, cada clase o tema obtenido de la clasificación (independientemente del procedimiento llevado a cabo) puede mapearse empleando Sistemas de Información Geográfica generando mapas temáticos (Sanderson 2007).

1.3.5.2 Clasificación No Supervisada

"Este método se dirige a definir las clases espectrales presentes en la imagen. "Esto implica que los ND (Números Digitales) de la imagen forman una serie de agrupaciones o conglomerados o clusters de píxeles con similares características. Basado en esto, la computadora localiza arbitrariamente vectores principales y los puntos medios de los grupos. Luego cada píxel es asignado a un grupo por la regla de decisión de mínima distancia al centroide del grupo" (Bekker, 2001).

La clasificación no supervisada trata de definir las clases espectrales presentes en la Imagen. No implica ningún conocimiento previo del área de estudio por lo que la intervención humana se centra en la interpretación de los resultados. Este método asume que los ND de la imagen se agrupan en una serie de conglomerados que se corresponden con grupos de píxeles con un comportamiento espectral homogéneo y que, por ello, deberían definir unas clases informacionales de interés. Por desgracia, estas clases espectrales no pueden ser asimiladas siempre a las categorías temáticas que el usuario pretende deducir por lo que es labor de éste interpretar el significado temático de dichas categorías espectrales (Yébenes; Giner, 2012).

1.3.5.3 Cálculo de Indicadores

La teledetección ha sido utilizada como valiosa herramienta y determinante a la hora de establecer indicadores de degradación y conservación de los recursos naturales, de manera especial en evaluar dinámicas en los cambios de usos de suelo y coberturas vegetales; entre las técnicas derivadas del uso de datos satelitales multiespectrales, se destacan el empleo de los índices de vegetación. Los índices empleados fueron aplicados a imágenes provenientes de los sensores Pushbroom (OLI y TIRS) del satélite Landsat 8.

1.3.5.4 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

El NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) es un índice que deriva del cociente entre la reflectancia del rojo y el infrarrojo cercano: (Ir – R)/ (Ir+R) (1) donde Ir es la reflectancia correspondiente al infrarrojo cercano y R la reflectancia correspondiente al rojo del espectro electromagnético (Rouse et .al., 1973).

Los valores del índice oscilan entre -1 y 1. Los valores negativos están relacionados con cuerpos de agua y superficies degradadas por acción del fuego, mientras que valores positivos más bajos (cercanos a 0) corresponden a vegetación senescente o de baja cobertura. Los valores positivos altos (cercanos a +1) representan alto contenido de biomasa fotosintética. Se han encontrado fuertes relaciones entre el NDVI y algunas características funcionales y estructurales de la vegetación como biomasa, índice de área foliar, cobertura y productividad primaria neta, razón por la que es uno de los índices más utilizados como indicador de la productividad. (Deering 1978).

El más conocido es el índice normalizado de vegetación (NDVI) cuya relación de bandas es según la ecuación 1.9. Cálculo de NDVI

$$\mathrm{NDVI} = \frac{\mathrm{NIR}-\mathrm{RED}}{\mathrm{NIR}-\mathrm{RED}} \quad (1.9)$$

Dónde:

NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

RED: Banda 4 del Landsat 8

NIR: Banda 5 del Landsat 8

Este índice se basa en que la vegetación tiene una reflectividad muy alta en la banda 5 del Landsat y muy baja en la 4. Por tanto, cuanto mayor sea la diferencia entre ambas bandas, mayor es el porcentaje de cobertura vegetal y más sana es esta. El objetivo fundamental en la utilización de este índice fue el de eliminar la influencia que el suelo puede tener sobre reflectividades en el rojo y en el infrarrojo y que pueda enmascarar las de la vegetación, por lo que fue utilizado principalmente en las imágenes que cubren el occidente del país, con la finalidad de realzar la vegetación desapercibida e identificar la vegetación dispersa

1.3.5.5 Índice diferencial de agua normalizado (NDWI)

Se utiliza como una medida de la cantidad de agua que posee la vegetación o el nivel de saturación de humedad que posee el suelo. Generalmente se lo calcula a partir de imágenes satelitales que brindan información de reflectancia de una determinada zona en diferentes bandas de frecuencia del espectro electromagnético. Tiene uso extendido en ciencias ambientales e hídricas, ya que brinda información relevante para utilizar en modelos de balance hídricos, predicción climática entre otros. Según la ecuación 1.10. Cálculo de NDWI

$$\mathrm{NDWI} = \frac{\mathrm{NIR}-\mathrm{SWIR}}{\mathrm{NIR}+\mathrm{SWIR}} \quad (1.10)$$

Dónde:

NDWI Índice Diferencial De Agua Normalizado

NIR (del inglés Near InfraRed) es el valor en la banda 5, que corresponde al infrarrojo cercano.

SWIR (del inglés ShortWavelength InfraRed) del infrarrojo corto (porción del infrarrojo medio) que llegaría hacer la banda 6.

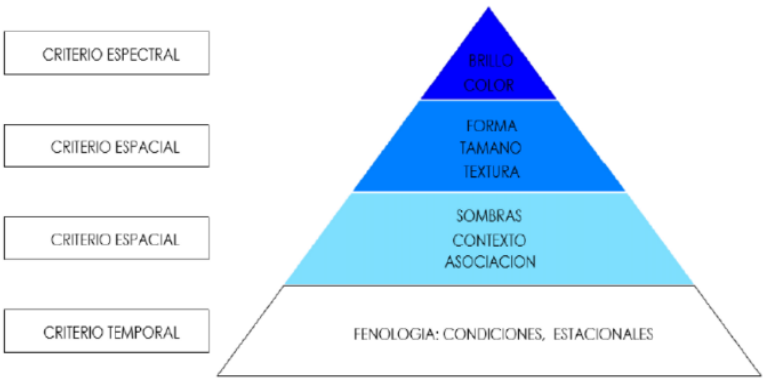
1.3.5.6 Interpretación visual de imágenes

La interpretación visual de las imágenes, se basa en la habilidad humana de relacionar colores y patrones en una imagen de características del mundo real. Muy a menudo, el resultado de la interpretación es hecho explícito a través de la digitalización de la geometría y los datos temáticos objetos relevantes (“mapeo). Esta es utilizada para producir información espacial como ser: Mapas de suelos, mapas catastrales, mapas de uso de la tierra y otros (Bakker; Jansen, 2001).

“La forma más intuitiva de extraer información de imágenes de satélite es mediante la interpretación visual, que está basada en la habilidad que presentan los humanos para relacionar tonos, colores y patrones espaciales que aparecen en una imagen con elementos del mundo real. Este tipo de interpretación se lleva a cabo mediante la superposición en la imagen de un papel apropiado (transparente o semitransparente) sobre el cual se dibujan y delimitan los elementos y áreas de interés para la interpretación (unidades de vegetación, de usos del suelo, geomorfológicas, litológicas). Posteriormente, la interpretación resultante se puede digitalizar, también es posible generar la interpretación en el propio monitor del

ordenador delimitando las áreas y elementos de interés mediante digitalización en pantalla" (Di Gregorio, 2005).

Figura 15: Clasificación de los Criterios Jerarquizados.



Fuente: Di Gregorio A. 2005.

Las principales características que resultan observables en las imágenes son: la forma, el tamaño, el tono, el color, la sombra, textura. La forma en que los objetos se distribuyen sobre la superficie terrestre y la manera en que dichos objetos se agrupan.

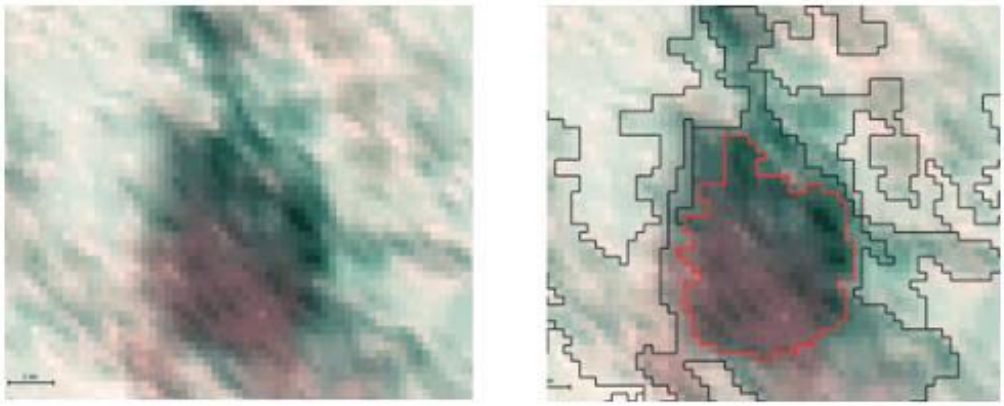
El objetivo esencial se centra en la identificación de los materiales de la superficie terrestre y los fenómenos que en ella se operan a través de su firma espectral. Su aplicación en los recursos naturales, se fundamenta en que los elementos de la naturaleza tienen una respuesta espectral propia que se denomina signatura espectral. De esta forma estudia las variaciones espectrales, espaciales y temporales de las ondas electromagnéticas, y pone de manifiesto las correlaciones existentes entre éstas y las características de los diferentes materiales terrestres. Entre las ventajas proporcionadas por estos sistemas destacan, la cobertura global y exhaustiva, perspectiva panorámica, observación multiescala, información sobre regiones no visibles del espectro, multitemporalidad de las observaciones, transmisión a tiempo real y registro digital de la información (Di Gregorio, 2005).

1.3.5.7 Segmentación de imágenes satelitales

El proceso de separar la imagen en objetos se conoce como "segmentación". La segmentación divide una imagen en "objetos primarios" que forman la base para clasificar el resto de la imagen en el que aquellos píxeles que están cerca y que tienen características

espectrales similares se agrupan en un segmento, donde el objetivo es obtener un mapa de clase de entidades orientado a objetos significativos (Brizuela et al. 2007).

Figura 16: Segmentación de imagen Landsat 8



Fuente: De Sousa (2013)

Las características de los segmentos de la imagen dependen de tres parámetros: detalle espectral, detalle espacial y tamaño mínimo de segmento. Las herramientas de segmentación proporcionan un enfoque para extraer entidades de imágenes basadas en objetos, usando el algoritmo de segmentación multi-resolución y la posterior clasificación de esos objetos segmentados mediante el clasificador supervisado.

1.3.6 Corrección de las imágenes satelitales

Una imagen de satélite está sometida a una serie de interferencias que hacen que la información que quiere obtenerse aparezca perturbada por una serie de errores. Estos errores son:

- Fallos en los sensores, generan pixeles incorrectos (corrección radiométrica)
- Alteraciones en el movimiento del satélite y el mecanismo de captación de los sensores, generan distorsiones en la imagen global (corrección geométrica)
- Interferencia de la atmósfera, alteran de forma sistemática los valores de los pixeles (corrección atmosférica).

Las correcciones que se deben realizar sobre las imágenes tienden a eliminar los ruidos causados a la señal que llega al satélite luego de haber atravesado la atmósfera, el efecto de la distorsión de la señal produce errores en la localización como en los ND (niveles digitales) de los píxeles, que pueden presentar alteraciones geométricas y radiométricas

de forma que no coincida con el tono, posición y tamaño de los objetos (Brizuela et al. 2007. pág. 225)

1.3.6.1 Georreferenciación y corrección geométrica de imágenes de satélite

Este proceso corrige los desplazamientos y distorsiones geométricas presentes en una imagen, causados por la inclinación del sensor (posición del sensor en el momento de la toma), la influencia del relieve y los errores sistemáticos asociados con la imagen. Esta parte del proceso es determinante, pues tiene implicaciones directas en la precisión de la posición de los resultados a obtener en el procesamiento. En el caso de estimación de cambios entre coberturas, garantiza que los cambios reportados entre dos imágenes de la misma zona y distintas fechas, se deban a cambios en las coberturas de la tierra detectadas durante el periodo establecido, y no a diferencias en la posición de las imágenes en el periodo de análisis

Una imagen de satélite, al igual que las fotografías aéreas, no proporciona información georreferenciada; cada pixel se ubica en un sistema de coordenadas arbitrario de tipo fila-columna como los que manejan los programas de tratamiento digital de imágenes.

El proceso de georreferenciación consiste en dar a cada pixel su localización en un sistema de coordenadas estandard (UTM, lambert, coordenadas geográficas) para poder, de este modo, combinar la imagen de satélite con otro tipo de capas en un entorno SIG. Tras la georreferenciación se obtiene una nueva capa en la que cada columna corresponde con un valor de longitud y cada fila con un valor de latitud. En caso de que la imagen no hubiese sufrido ningún tipo de distorsión, el procedimiento sería bastante sencillo; sin embargo una imagen puede sufrir diversos tipos de distorsiones.

Las correcciones necesarias para transformar en cada punto de la imagen sus coordenadas arbitrarias (fila-columna) en coordenadas reales (X e Y UTM por ejemplo) se explicitan mediante un par de ecuaciones que hacen corresponder a cada pixel par (f ,c) un par (X,Y).

$$X = f_1(f, c) \qquad (1.11)$$

$$Y = f_2(f, c) \qquad (1.12)$$

Estas son transformaciones puntuales, que posibilitan el cambio de la posición de los pixeles originales de la imagen sin alterar los niveles digitales; las transformaciones que

relacionan las nuevas posiciones de los píxeles se pueden basar en funciones numéricas que facilitan modificar la geometría de la imagen. (Bernal & Montes, 2016, pág. 23)

1.3.6.2 Corrección topográfica

El uso operacional de imágenes satelitales, para clasificación e interpretación, frecuentemente se encuentra limitado por la aparición de sombras, debido a las condiciones de iluminación de cada escena, definidas por el ángulo cenital del sensor en el momento de la toma y a la abrupta topografía. Estas limitaciones se manifiestan de forma que, para un mismo tipo de cobertura vegetal, algunos sectores presentan una reducción de los niveles de reflexión de la luz (Muñoz et al, 2014). Para resolver este problema, es posible realizar correcciones topográficas a las imágenes, que tienen como objetivo el rescatar, para el análisis, a pixeles de una imagen cuyos niveles digitales están disminuidos por causa de las sombras. Un procedimiento en teledetección que se ve especialmente beneficiado por esta corrección es la clasificación de imágenes, tanto supervisada como automática. En términos prácticos es posible realizar este tipo de corrección en varios programas, pero no necesariamente en software libre. Se refiere expresamente a los problemas que estos presentan y a sus resultados insatisfactorios. Uno de estos programas de libre distribución es QGIS, que presenta varios desafíos a la hora de intentar corregir topográficamente una imagen.

La corrección topográfica se basa en la generación de un modelo de iluminación correspondiente al día, hora y ubicación de la imagen y se asemeja a un modelo ideal en que la fuente luminosa se ubicara en el cenit de tal manera que no se generarán sombras por el efecto de las montañas o barrancas. A la diferencia entre ambos modelos de iluminación se le considera el factor de corrección, el cual se aplica a cada una de las bandas de la imagen satelital para corregir el efecto topográfico. Una vez corregida la imagen satelital, es posible agrupar asertivamente los distintos usos de suelo y coberturas vegetales mediante una clasificación supervisada por máxima similitud con polígonos de clasificación levantados en campo. El método mejora la clasificación entre 40-50% con respecto a imágenes clasificadas sin corrección topográfica, obteniendo estimaciones de uso de suelo y cobertura vegetal con un 85-90% de confiabilidad. Al aumentar la confiabilidad en la estimación del uso del suelo y vegetación se mejoran los procesos de planificación territorial (Gozanles, 2012).

Uno de los factores más limitantes para la delimitación de cultivos que predominan en regiones de alta montaña es el efecto de sombreado topográfico que se presenta. Este trabajo se orienta a realizar una valoración de cuatro métodos de corrección topográfica (lambertianos y no-lambertianos) para reducir los efectos de pendiente y aspecto topográfico en una imagen Landsat ETM+. El desarrollo de estos métodos fue evaluado mediante un análisis visual y estadístico, considerando dos criterios: (1) cambios en las características espectrales de la imagen y (2) reducción de la correlación de la reflectancia e iluminación del terreno.

Existen varias formas de hacer estas correcciones, pero la idea de este documento es que el método sea simple y realizable con software libre. Además, los resultados tienen que ser óptimos en cuanto al objetivo del analista. Los modelos utilizados, para atenuar el problema de las sombras, deben ser ajustados localmente ya que se reconoce que" no existe un modelo de aplicación universal que resuelva todos los problemas (Mariotto y Gutschick, 2010)".

Figura 17: Métodos y ecuaciones matemáticas para la corrección topográfica

MÉTODO	*FÓRMULA MATEMÁTICA*	*SÍMBOLO*	*EXPLICACIÓN*
COSENO	$L_H = L_T \frac{\cos(Z)}{\cos(i)}$	L_H	Radiancia normalizada. Reflectancia de una superficie horizontal
		L_T	Radiancia observada. Ejemplo valor del pixel de la imagen
MINNAERT	$L_H = L_T \times \frac{\cos^{1-k}(e)}{\cos^{k}(i)}$	I	Angulo solar incidente
		e	Exictancia o ángulo de vista, equivalente al ángulo de la pendiente S
ESTADÍSTICO	$L_H = L_T - \cos(i)m - b + L_T$	Z	Angulo solar cenital
		K	Constante de Minnaert
FACTOR C	$L_H = L_T \times \frac{\cos(Z)+C}{\cos(i)+C}$	m,b	Pendiente e intercepto de la línea formada por la regresión
		C	"Factor C", definido como (b/m)

Fuente: Elaborado en base a Mariotto y Gutschick, (2010)

1.3.6.3 Correcciones radiométricas

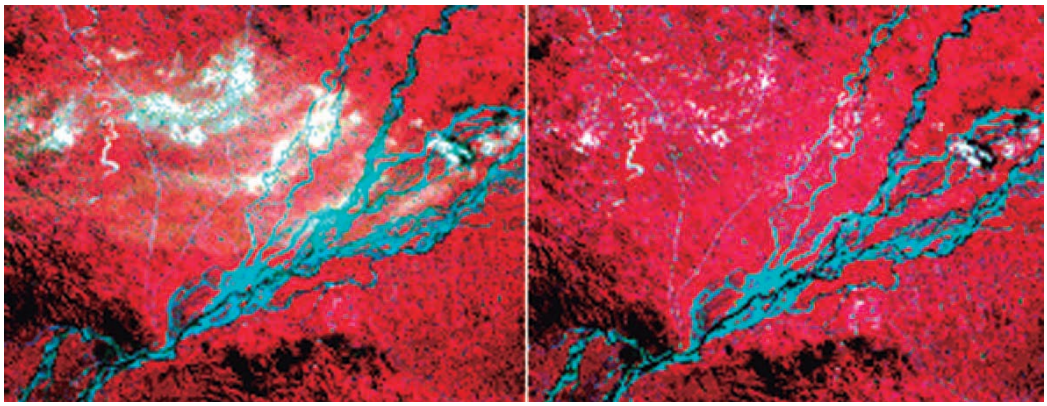
Es el conjunto de operaciones utilizadas para modificar los ND (Niveles digitales) originales de una imagen, para aproximarse a valores obtenidos en condiciones ideales, manteniendo invariable la posición de los píxeles; debido a las condiciones atmosféricas y a posibles fallas dentro de los sensores (Bernal & Montes, 2016, pág. 23). La corrección radiométrica implica, por una parte, la restauración de líneas o píxeles perdidos y por otra, la corrección del bandeado de la imagen.

Este proceso permite convertir la información de la imagen original (bruta) de cada pixel, de Niveles Digitales -ND- a Niveles de Reflectancia captada por el sensor en el tope de la atmosfera, es decir, sin los efectos de la misma, lo que permite disminuir los efectos de dispersión o absorción causados por la presencia de partículas en la atmósfera. Adicionalmente, se busca remover el efecto de los diferentes ángulos de incidencia de la energía solar y de la distancia Tierra - Sol, que se producen como consecuencia de las diferencias de tiempo de adquisición de las imágenes.

Es conveniente su aplicación en el caso de utilizar imágenes de diferentes tipos de sensores, pues permite normalizar las diferencias de valores de la radiación solar causados por las diferencias de los rangos espectrales entre las bandas de las imágenes. En general, con estas correcciones se busca minimizar los errores que influyen en la radiación o en el valor radiométrico de cada elemento captado en la escena.

El proceso de corrección atmosférica puede aplicar opcionalmente la corrección de neblina y/o el enmascaramiento de nubes, por lo cual es necesario inspeccionar previamente la imagen para detectar la presencia de nubes y/o neblina evidente. Como resultado final de este sub-proceso, se obtiene una imagen en valores de reflectancia que mejora la separabilidad espectral de los objetos presentes en la imagen corregida (coberturas de la Tierra) respecto a la imagen original, mejorando los resultados finales del proceso de clasificación digital que se puede ver en la siguiente figura.

Figura 18: Ejemplo de corrección atmosférica de una imagen satelital



Fuente: (IGAC, 2008)

1.3.7 Resolución de un sistema de sensor

"Podemos definir la resolución de un sistema sensor como su habilidad para registrar discriminándola, información de detalle. Esta definición engloba varios aspectos que merecen un comentario más detallado, por un lado, se habla de resolución de un sistema sensor, indicando que este concepto se refiere al conjunto del equipo, y no a cada una de sus partes, dicho de otra forma, la resolución de un sensor depende del efecto combinado de sus distintos componentes" (Chuvieco, 2008).

1.3.7.1 Resolución espacial

"Este concepto designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen, en un sistema fotográfico, suele medirse como la mínima separación a la cual los objetos aparecen distintos y separados en la fotografía. Se mide en unidades de longitud (mm sobre la foto, o m sobre el terreno), y depende de la longitud focal de la cámara y de su altura sobre la superficie" (Chuvieco, 2008).

Resolución espacial**:** Para una altitud dada, la resolución espacial de cada sensor pasivo está determinada por el IFOV (Instantaneous Field of View) (Jensen, 2005). "La presentación digital de una imagen satelital puede variar desde el área completa de la imagen hasta su máxima resolución distinguiendo cada elemento más fino (píxel). La resolución espacial indica el potencial de detalle que ofrece una determinada imagen satelital" (Martinez & Pilar, 2010, pág. 86)

1.3.7.2 Resolución espectral

Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor, en este sentido un sensor será tanto más idóneo cuanto mayor número de bandas proporcione ya que facilita la caracterización espectral de las distintas cubiertas. A la vez conviene que esas bandas sean suficientemente estrechas, con objeto de recoger la señal sobre regiones coherentes del espectro, bandas muy amplias suponen registrar un valor promedio, que puede encubrir la diferenciación espectral entre cubiertas de interés (Chuvieco, 2008).

1.3.7.3 Resolución temporal

Se refiere a la periodicidad con la que un sensor remoto proporciona cobertura sobre un punto, esto resulta ser dependiente a la órbita de la plataforma, así como las características

de diseño del sensor, existen sensores, los cuales entregan información cada 30 minutos, pero también existe algunos como el Landsat, el cual tarda hasta 16 días en enviar lo obtenido (Chuvieco, 2008). “El ciclo de cobertura está en función de las características orbitales de la plataforma (altura, velocidad, inclinación), así como del diseño del sensor principalmente del ángulo de observación y de cobertura”.

1.4 Sistemas de información geográfica (SIG)

“La información geográfica es un componente fundamental en un gran número de actividades de toda índole, y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son la herramienta básica para su manejo y uso”. Los países en desarrollo están apostando por el uso del SIG, geo datos libres y estándares abiertos cada vez mayor. La representación del mundo real, y la modelación son componentes importantes para el uso y conservación de los recursos naturales.

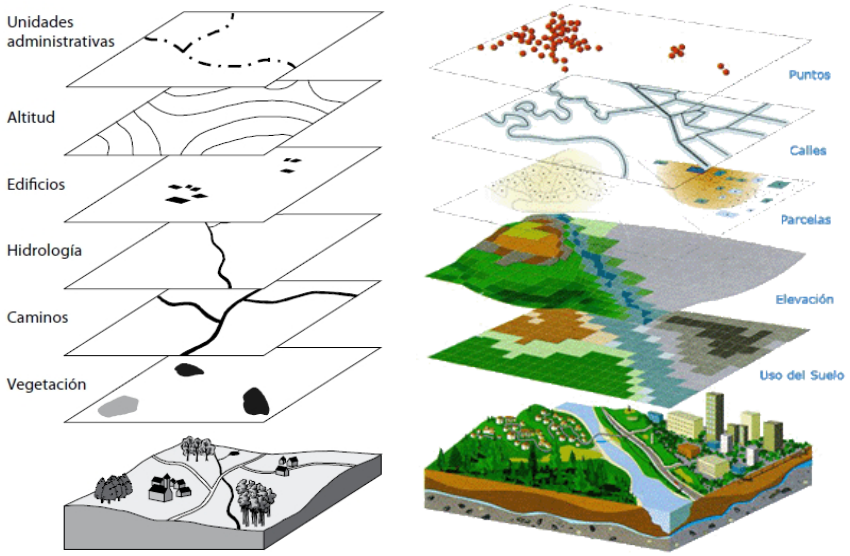
Definiciones de SIG existen muchos, hasta el momento ninguna es considerada como estándar. Entre esta variedad de definiciones se destaca la realizada por el National Center for Geographic Information & Analysis que considera un SIG como un *“sistema* compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelizar y representar datos georreferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación”.

Entre las principales características de un SIG se pueden destacar las siguientes (Vila & Varga 2008):

- Se trata de un sistema de representación que permite visualizar entidades gráficas (puntos, líneas, símbolos, imágenes y otros) referenciados mediante coordenadas.
- Dispone de una base de datos adjunta fácilmente manejable.
- La organización de la base de datos hace posible el análisis de las relaciones espaciales entre los datos almacenados.
- Dispone de un sistema de acceso a la base datos que permite realizar consultas y simulaciones.
- Dispone de un sistema de generación de cartografía automática a partir de consultas y simulaciones.
- Dispone de un sistema de generación de información alfanumérica a partir de consultas y simulaciones.

- Dispone de un lenguaje de programación que permite la implementación de nuevas aplicaciones para dar respuesta a nuevas necesidades de los usuarios.
- Dispone de un sistema de importación y exportación de datos gráficos y alfanuméricos.

Figura 19: Representación del mundo real usando las TIG



Fuente: ESRI, (1995)

Esta definición de SIG aglomera los siguientes componentes que están formados por un grupo de subsistemas esenciales para su correcto funcionamiento, entre estos se tiene: equipo informático, el software correspondiente al sistema, información georreferenciada de los elementos de estudio, así como sus atributos descriptivos y un diseño específico de la aplicación (ESRI, 1995; GIS Development). La descripción se muestra a continuación.

Figura 20: Componentes principales de los SIG

Fuente: (ESRI, 1995)

Es frecuente la confusión que se genera en contextos no especializados, el hecho de utilizar el mismo acrónimo (el término SIG) para referirse, conceptualmente, a cuestiones esencialmente distintas (Del Bosque, et. al, 2012, pág. 13):

SIG como disciplina: es el ámbito en el que se mueven la definición que está arriba.

"SIG como proyecto: cada una de las realizaciones prácticas o implementaciones técnicas de la disciplina SIG; así se pueden encontrar ejemplos que aluden a SIG arqueológicos, SIG medioambientales o el SIG de una u otra comunidad autónoma".

"SIG como software: La industria tiende a referirse con el término SIG al programa o conjunto de programas que posibilitan desarrollar esta disciplina e implementar los proyectos correspondientes, de esta forma se habla de SIG propietarios, SIG libres o del SIG de una u otra casa comercial".

"Las Tecnologías de Información Geográfica (TIG) son un conjunto de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) especializadas que ayudan en la recolección, manejo y análisis espaciotemporal de datos relacionados con los recursos, las características de los espacios naturales y los aspectos socioeconómicos de una zona. Su capacidad para visualizar la información espacial es un elemento importante para la comunicación, difusión e intercambio de conocimientos" (InfoResources, 2007). Las TIG incluyen las siguientes herramientas:

- Sistemas de Información Geográfica (SIG): "ayudan a almacenar y analizar los datos referenciados geográficamente. Los SIG integran las operaciones comunes de creación de bases de datos con medios únicos de visualización y con el potencial en términos geográficos y de análisis de los mapas. Los SIG asisten a sus usuarios en el análisis estadístico y proporcionan una base para la interpretación de cómo los factores físicos, sociales y económicos interactúan espacialmente".
- Sistemas de Posicionamiento Global (SPG): "Son sistemas satelitales que permiten captar la ubicación de puntos de muestra (viviendas, parcelas, confluencias de ríos, y otros). Pueden utilizarse para referenciar imágenes satelitales u otras capas de datos espaciales". En este sistema está el GPS.
- Teledetección (TD): "También llamada percepción remota. Consiste en la exploración de la superficie de la tierra desde satélites y aviones. La teledetección

proporciona imágenes de la superficie que posibilitan la clasificación de los diferentes tipos de cubierta terrestre y el monitoreo de los mismos y de los cambios en el uso de la tierra".

- Herramientas de internet, "tales como el Google Earth, brindan nuevas formas de compartir la información y de visualizar datos en tiempo real y otras páginas web que brindan geodatos".

Las TIG se utilizan cada vez más en forma combinada con otras tecnologías, aprovechándose las ventajas de cada una de ellas para lograr aplicaciones integradas (InfoResources, 2007)

1.4.1 Datos vs información

En las actividades cotidianas de los profesionales del área de ciencias agrarias es habitual el uso de datos geográficos e información. Es común considerarlos sinónimos, para resolver esto, se aclaran las diferencias. Hay que realizar la distinción entre lo que se entiende por "datos", "información" y "conocimiento". Los datos son la representación concreta de la realidad, un conjunto de datos interrelacionados forma una base de datos, de la cual se sobre entiende que está en formato digital; la información es fruto del proceso interpretativo del usuario a partir de la base de datos, utilizando diferentes técnicas, medios o habilidades basadas en el conocimiento (Rodríguez 2011). "Aunque los términos dato e información normalmente se utilizan en forma arbitraria, cada uno de ellos tienen un significado diferente. Los datos describen las diferentes observaciones realizadas de un proyecto que se recogen y almacenan en un sistema (base de datos), mientras que la información la constituyen los datos almacenados analizados y procesados para responder preguntas y resolver problemas. En el ámbito geográfico existen dos tipos de datos: Los datos no espaciales (atributos) y los datos espaciales o geométricos".

"Los datos geográficos son entidades espacio - temporales que cuantifican la distribución, el estado y los vínculos de los distintos fenómenos u objetos naturales y sociales. También son llamados datos geoespaciales que son objetos o entidades abstraídos del espacio geográfico real; pueden corresponder con elementos de la naturaleza, con elementos producto de la mano del hombre o a meras abstracciones numéricas derivadas del

tratamiento de cifras relacionadas con aquellos objetos o entidades. Su característica más relevante es la referencia espacial y debe contener":

- "Posición absoluta: sobre un sistema de coordenadas (x, y, z)".
- "Posición relativa: frente a otros elementos del paisaje (topología, incluido, adyacente, cruzado, entre otros)".
- "Figura geométrica: (punto, línea, polígono)".
- "Atributos: características del elemento o fenómeno"

Del Bosque et al. (2012) ilustra que los datos geográficos o espaciales representan fenómenos reales o abstractos en términos de:

- "Su posición y forma respecto de un sistema de coordenadas conocido"
- "Los atributos (geoespaciales y temáticos o descriptivos) relacionados con el objeto geográfico, como podrían ser la elevación, temperatura, color, etc.".
- "Las interrelaciones espaciales existentes entre los objetos".

"Este último es conocido con el nombre de "topología", un concepto clave en el mundo de los SIG que se refiere a la información cualitativa compuesta por un conjunto de reglas que describen las propiedades y conexiones, no métricas, de la información geográfica, como pueden ser la contigüidad, la conectividad, la superposición o la adyacencia". En la siguiente figura se puede ilustrar la captura de datos geográficos con la técnica de geoprocesamiento con receptor GPS tipo navegador.

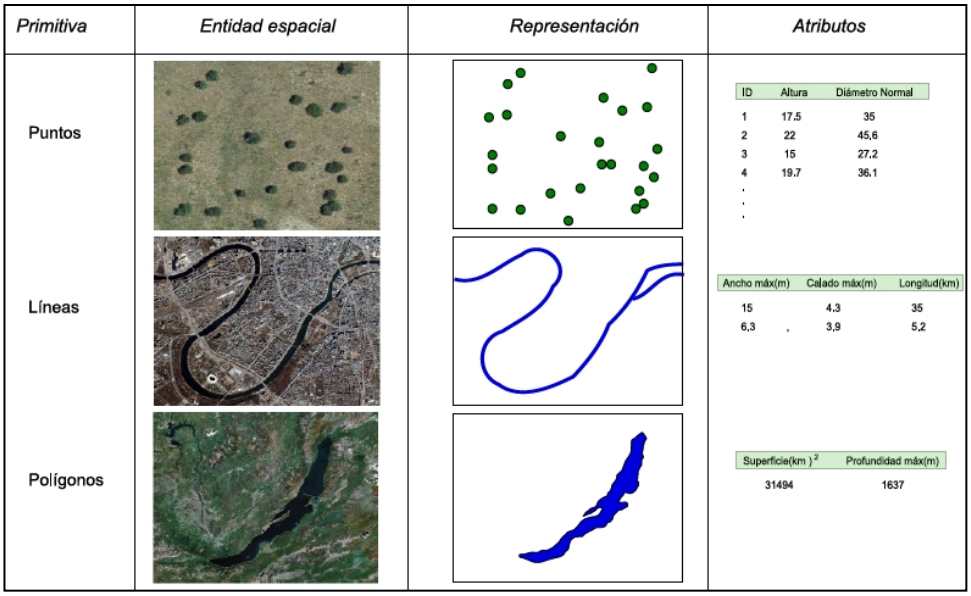
Figura 21: Captura de datos geográficos con GPS tipo navegador por el tesista en sep. 2022

Fuente: Elaboración propia

1.4.2 Modelo de datos espaciales

"En la heterogeneidad en la generación y gestión de la información geográfica, existen dos aproximaciones básicas para simplificar y modernizar el espacio, de modo que éste pueda ser almacenado y manipulado en un sistema informático SIG – Teledetección. Estas son los Vectoriales y Raster, ambos son complementarios y convive dentro de los SIG, aunque cada uno de ellos resulte más o menos apropiado para el estudio de un tipo de información específica. El modelo vectorial, que representa la realidad en forma de puntos, líneas y polígonos, y es habitualmente utilizado para tratar fenómenos geográficos discretos (vías de comunicación, tejidos urbanos, cubiertas vegetales y otros").

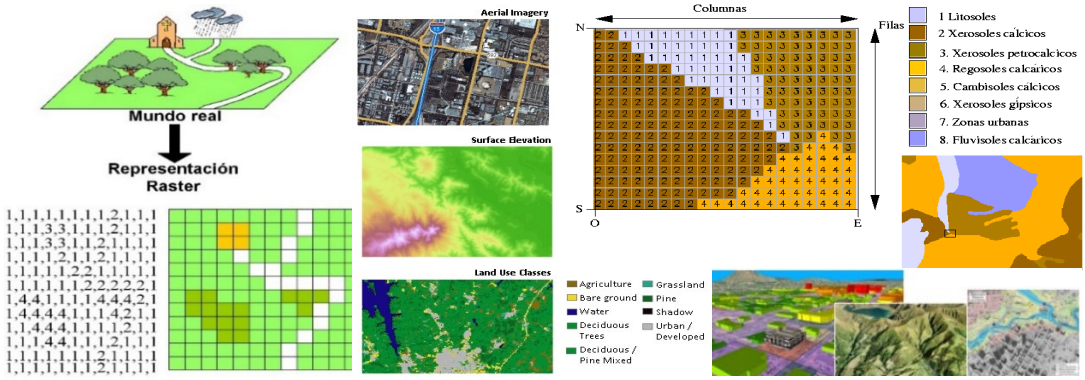
Figura 22: Representación vectorial y ejemplos particulares de cada una de ellas con atributos asociados



Fuente: (ESRI, 1995).

El modelo raster o matricial, que representa los elementos geográficos mediante celdas regulares (cuadrados o rectángulos), usado generalmente para representar fenómenos continuos.

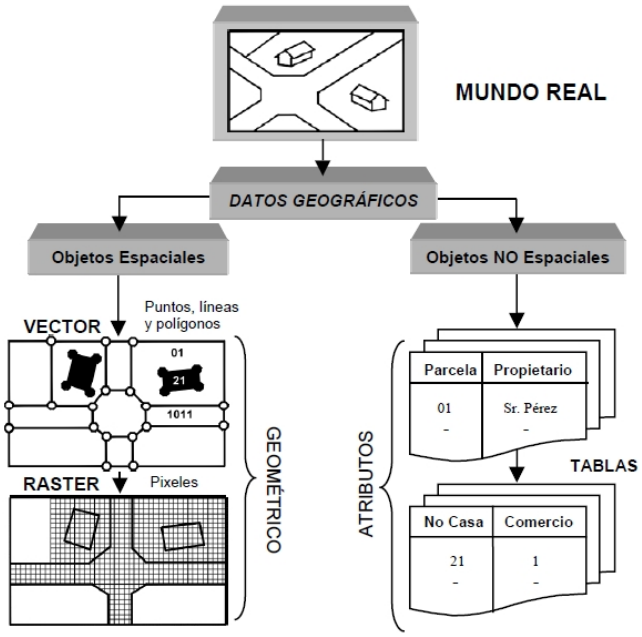
Figura 23: Representación raster y ejemplos del mundo real



Fuente: (ESRI, 1995).

Al representar el mundo real en el SIG se realiza a través de datos geográficos (vectoriales y raster) tiene los siguientes componentes.

Figura 24: Componentes básicos de los datos geográficos

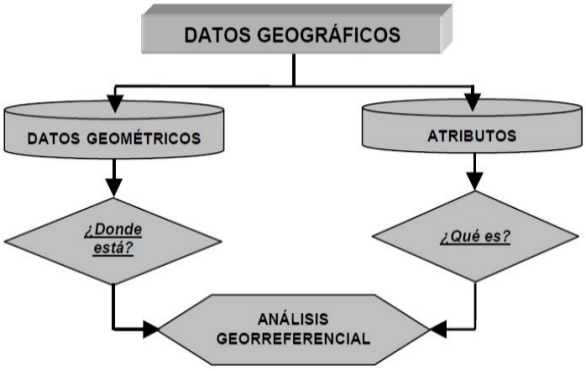


Fuente: (ESRI, 1995).

"Los datos geográficos están organizados en bases de datos, normalmente considerados como la unión de datos referenciados espacialmente junto a una descripción específica que actúan como un modelo de la realidad. Estas bases de datos están compuestas por dos componentes esenciales que son: la posición geométrica y sus atributos o propiedades que permiten responder preguntas básicas del análisis georreferencial como pueden ser: ¿Dónde está? o ¿Qué es?". Estas preguntas son respondidas a través del análisis espacial,

el cual proporciona información geográfica para la toma de datos en el manejo de los recursos naturales.

Figura 25: Estructural del análisis espacial



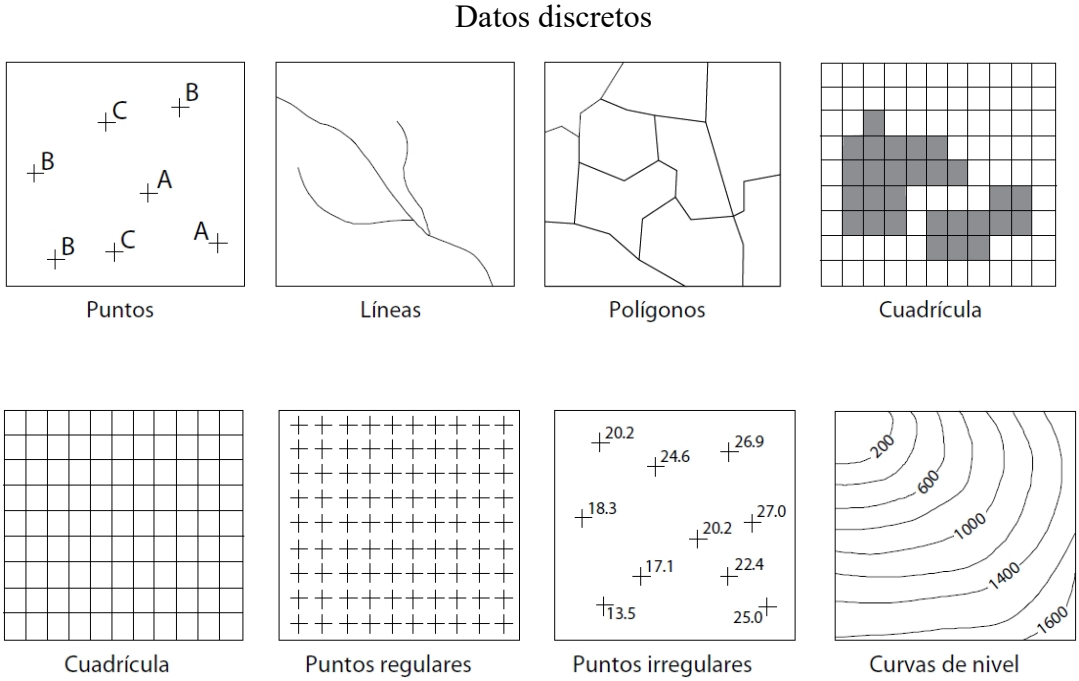
Fuente: (ESRI, 1995).

Información no espacial. También llamada datos tabulares por estar estructurado en tablas. Sin embargo, esta definición queda pequeña para la definición de información geográfica, es por tal razón que la correcta denominación es, datos no espaciales. "Se entiende por Información Geográfica Alfanumérica toda aquella información relativa al territorio y almacenada en medio digital como una tabla de una Base de Datos (BDD) con una referencia a un elemento espacial". Pueden darse dos casos:

- "La tabla contiene las coordenadas espaciales de una entidad puntual y sus atributos".
- "La tabla no contiene referencias espaciales, pero sí un código que la relaciona con un determinado elemento gráfico contenido en otro(s) archivo(s)".

En cualquier caso, estas tablas no se diferencian en absoluto de las tablas de una Base De Datos cualquiera, ni tienen ninguna otra característica especial, salvo que todos los datos tienen una referencia geográfica o territorial (Del Bosque, et. al 2012).

Figura 26: Vectores y raster pueden usarse para mostrar datos discretos y continuos



Fuente: (ESRI, 1995).

1.4.3 Precisión, unidad mínima cartografiable y escalas cartográficas de referencia

En esta parte, se define conceptos que se usan con frecuencia en la generación, procesamiento, administración y presentación de información geográfica.

Precisión: "Se ha observado que la precisión de mapas temáticos en el ámbito forestal es un aspecto al que no se le ha otorgado la importancia que realmente tiene en cartografía. La precisión de un mapa no depende de su escala cartográfica. En lugar de eso, depende de la precisión de los datos originales utilizados en el relevamiento de la información base para generar el mapa, de la precisión con la cual los datos fuente son transferidos al mapa, y de la resolución a la que el mapa se imprime. Como valor de referencia, la precisión planimétrica debe corresponder a 0,5 mm para el 90% de los puntos del mapa impreso.

Este requerimiento de precisión en muchos casos es difícil de satisfacer con todas las coberturas utilizadas para generar un mapa temático, debido a que, en su generación, se integran coberturas de diferentes fuentes y con precisiones frecuentemente no determinadas y/o validadas. Por ejemplo, para un mapa de tipos forestales es común

integrar información sobre curvas de nivel, red de drenaje, red vial, localidades, entre otras, las cuales provienen de diferentes fuentes de relevamiento y procesamiento".

Unidad mínima cartografiable: "Define si un objeto será representado como área si sus dimensiones superan 0,2 mm a la escala del mapa, valor conforme al límite de percepción visual humana de diferenciar objetos a partir de separaciones de 0,2 mm. Se recomienda que la unidad mínima cartografiable no sea menor a 4 mm^2". Sin embargo, en estudios realizados en la clasificación de imágenes satelitales para el relevamiento de clases de cobertura del suelo en el año 1990, se ha definido como unidad mínima cartografiable 25 mm^2, valor resultante del compromiso entre el detalle de la información de las clases y del costo que requiere el proceso de clasificación y validación (Büttner et al., 2004). "Para el año 2000, en el marco del mismo estudio, se propuso un ajuste a 5 mm^2 y una longitud de línea de 1 mm respectivamente, tomando en cuenta la disponibilidad de datos satelitales de mayor resolución espacial. Este valor se puede tomar como referencia en el ámbito forestal".

Sin embargo, es el analista quien define el nivel de abstracción, generalización y clasificación de la cobertura del bosque de acuerdo al objetivo y a la metodología del trabajo, tomando criterios de diseño cartográfico que se ilustra en el siguiente cuadro.

Tabla 7: Criterios técnicos básicos para el diseño cartográfico de los estudios de uso del suelo con fines de planeación territorial en 3 niveles de organización.

Criterio	Nivel		
	Nacional	Estatal/Regional	Municipal
Escala cartográfica	1:250 000 o menor	1:100 000	1:25,000 o mayor
Tipo de insumo	Landsat, MODIS, Google Earth	Landsat, Google Earth	SPOT, Aster, Google Earth
Unidad mínima cartografiable	1 km^2	0.16 km^2	0,01 km^2
Nomenclatura de clases	Primer nivel	Segundo nivel (1 subdivisión)	Tercer nivel (2 subdivisión)
Nivel de nomenclatura	Formación vegetal	Formación vegetal + Tipo de vegetación	Formación vegetal + tipo de vegetación + comunidad

Fuente: (Del Bosque, Fernandez, Martin-Forero, & Perez, 2012)

La escala del trabajo condiciona también la unidad más pequeña de información que se debe incluir en un mapa temático, que suele denominarse mínima unidad cartografiable (MUC). Varios autores recomiendan que la MUC no sea inferior a 4 mm^2, medidos a escala del mapa, por lo que la escala nos apunta directamente al nivel de resolución

espacial más adecuado para un determinado estudio, no conviene confundir la MUC con el tamaño del mínimo objeto que puede observarse en la imagen. Obviamente, aquella tiene que ser mucho más grande que este, de lo contrario el error aumenta considerablemente (Chuvieco, 2006).

Landsat – OLI 1:100 000

Escala cartográfica: La escala cartográfica, y expresada en términos numéricos, es una fracción definida por la relación existente entre las distancias medidas en un mapa y las correspondientes en el terreno. "Como elemento de referencia para la representación cartográfica de áreas boscosas relevadas en base a información satelital, en el cuadro 2 se presentan valores de escalas máximas determinadas. Se debe enfatizar que las escalas máximas mencionadas, no se deben tomar como escala recomendada de estudio o trabajo, sino que muestra el máximo potencial de productos cartográficos generados del ámbito forestal y en los cuales se realizaron las validaciones geométricas correspondientes. Si bien existen otros sensores ópticos con aplicación forestal, la tabla presenta el rango de resolución espacial media a alta de datos satelitales ópticos de mayor aplicación en el sector forestal".

Tabla 8: Resolución espacial de datos satelitales, escala cartográfica máxima, y unidad mínima cartografiable

Datos satelitales	Resolución espacial	Escala cartográfica máxima	Precisión planimétrica 0,5 mm (90 %)	Unidad mínima cartografiable (5mm2)/1mm
IKONOS	1 m 4,0 m	1: 3.000 1: 8.000	1,5 m 4,0 m	0.004 ha/ 3 m 0.03 ha/ 8 m
Quickbird	0,6 m 2,4 m	1: 1.500 1: 5.000	0,75 m 2,5 m	0.001 ha/1,5 m 0.01 ha/ 5 m
SPOT V	2,5 m 5 m 10 m	1: 5.000 1: 10.000 1: 15.000	2,5 m 5,0 m 7,5 m	0.01 ha/ 5 m 0.03 ha/ 10 m 0.1 ha/ 15 m
ALOS	2,5 m 10 m	1: 5.000 1: 15.000	2,5 m 7,5 m	0.01 ha/ 5 m 0.1 ha/ 15 m
ASTER	15 m – 30 m	1: 50.000	25,0 m	1,25 ha/ 50 m
Landsat	30 m	1: 100.000	50,0 m	5,0 ha/ 100 m

Fuente: López, 2012

El método de muestreo de campo y la coherencia geométrica entre las diferentes coberturas también son factores determinantes de la calidad de coberturas temáticas, y

usualmente no son consideradas en el momento de la cuantificación de la precisión (Foody, 2002).

- **Sistemas de referencia**

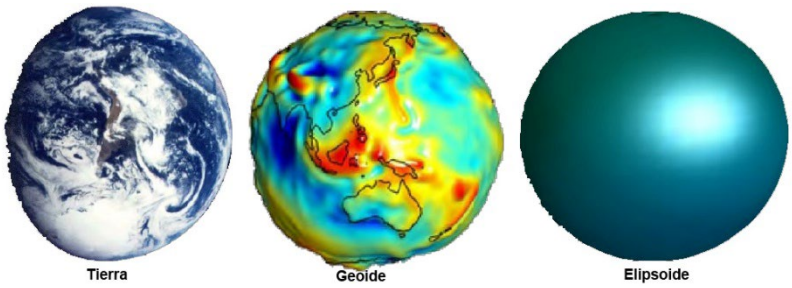
"Un mapa en el ámbito geográfico es un modelo de la superficie de la Tierra, es una reproducción de un objeto que, en general, es más simple que el objeto original. La superficie de la tierra es tridimensional, grande y compleja. En él se simplifican las tres características reseñadas sobre la superficie de la tierra" (Mancebo et al. 2008):

- "Los mapas suelen ser de dos dimensiones para facilitar su creación y manejo, si bien, existen representaciones tridimensionales. El resultado final es la representación de la superficie de la tierra en una superficie plana".
- "En los mapas la reducción del tamaño se expresa con la escala o relación entre el tamaño de los objetos del mapa y los reales".
- "La complejidad se simplifica modelizando una o unas pocas características de la superficie de la tierra, excluyendo el resto. Así, en función de la característica modelizada se tienen las distintas temáticas de los mapas".

El Geoide y elipsoide

"La forma de la tierra, sin las pequeñas irregularidades que presenta en su superficie, se denomina geoide, el cual, físicamente, es una superficie equipotencial del campo de gravedad terrestre. Esta forma es la que tendría la tierra si toda la superficie fuera mar en reposo. El geoide es aún más complejo para poder ser transformado en un plano, si bien es prácticamente una esfera, o un elipsoide si se tiene en cuenta el achatamiento de los polos. A lo largo de la historia el conocimiento sobre la dimensión exacta de la tierra ha ido mejorando y, en paralelo, se han ido definiendo distintas esferas y elipsoides para ajustarse a su forma. En 1980 se determinó finalmente el tamaño casi exacto de la tierra, los dos últimos elipsoides más conocidos, GRS80 y WGS84 difieren en una décima de milímetro".

Figura 27: Proceso de modelización de la superficie de la tierra: realidad – geoide – elipsoide



Fuente: Mancebo et al. (2008)

El elipsoide WGS 1984 ha sido usado oficialmente para la cartografía de Bolivia. Es muy empleado en la actualidad, pues es el utilizado por el sistema GPS. En la tabla siguiente se muestra los elipsoides más importantes.

Tabla 9: Elipsoides de mayor uso en la cartografía

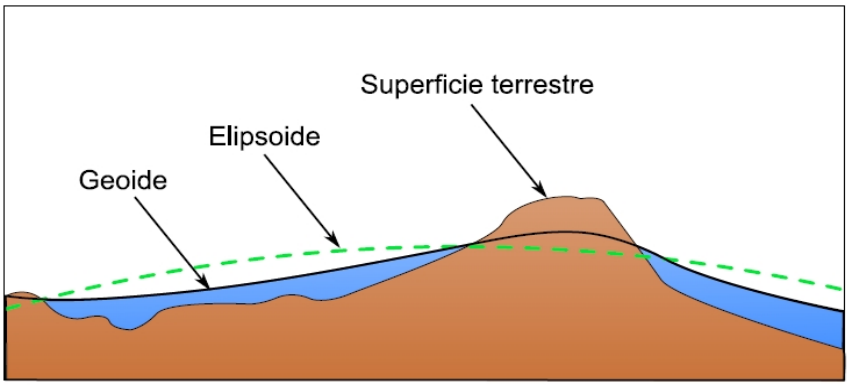
Nombre	Eje Ecuatorial (m)	Eje polar (m)	Achatamiento
Clarke 1866	6 378 206,4	6 356 583,8	294,9786982
International 1909 o 1924 o de Hayford	6 378 388	6 356 911,9	297
GRS 1980	6 378 137	6 356 752,3141	298,257222101
WGS 1984	6 378 137	6 356 752,3142	298,257223563
Esfera (6.371 km)	6 371 000	6 371 000	Infinito

Fuente: (ESRI, 1995).

“El intento más básico de establecer un modelo de la forma de la tierra es similar a una figura geométrica simple, la cual pueda expresarse mediante una ecuación matemática”. Además de ser más sencilla de manejar, disponer de esta ecuación matemática permite la aplicación de conceptos geométricos, estableciendo a una base práctica para el trabajo con coordenadas y la definición de sistemas de referencia (Martinez & Pilar, 2010)

El geoide no es, sin embargo, una superficie regular como el elipsoide, y presenta protuberancias y depresiones que lo diferencian. “La densidad de la tierra no es constante en todos sus puntos, y ello da lugar a que el geoide sea una superficie irregular como consecuencia de las anómalas gravimétricas que dichas variaciones de densidad ocasionan”.

Figura 28 : Diferencias de la superficie real de la tierra, geoide y elipsoide



Fuente: (ESRI, 1995).

Estas diferencias son una de las fuentes de errores al capturar datos geográficos con un equipo GPS tipo navegador. Es importante tomarlas en cuenta para realizar las correcciones.

Sistemas de coordenadas

"Un sistema de coordenadas es un conjunto de valores que permite unívocamente la posición de cualquier punto de un espacio bidimensional o tridimensional. Pueden ser lineales (sistemas cartesianos, con ejes ortogonales) o esféricas. Sistema de referencia de coordenadas está referido a la tierra a través de un Datum".

"Disponiendo de un modelo preciso para definir la forma de la Tierra, podemos establecer ya un sistema de codificar cada una de las posiciones sobre su superficie y asignar a estas *coordenadas*. Puesto que la superficie de referencia que consideramos es un elipsoide, lo más lógico es recurrir a los elementos de la geómetra esférica y utilizar estos para definir el sistema de referencia". De ellos derivan los conceptos de latitud y longitud, empleados para establecer las coordenadas geográficas de un punto (Olaya 2011).

No obstante, la geometría plana resulta mucho más intuitiva y práctica que la geómetra esférica para realizar ciertas tareas, y al ras de esto surgen las proyecciones cartográficas, que tratan de situar los elementos de la superficie del elipsoide sobre una superficie plana, y que son los que se emplean para la creación de cartografía (Martinez & Pilar, 2010). "Al aplicar una proyección cartográfica básicamente la localización geográfica de un punto se puede realizar detallando uno de estos dos parámetros":

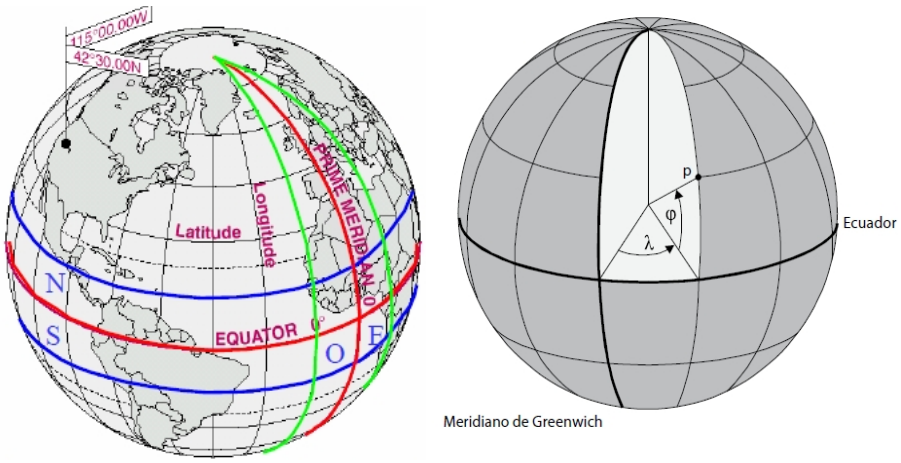
- ✓ Coordenadas geográficas (o polares) en formato Longitud-Latitud.
- ✓ Coordenadas (X, Y) UTM. Universal Transversa Mercator.

Cada una de estas dos formas de localizar un punto sobre la superficie terrestre debe cumplir con los siguientes requisitos:

- ✓ Que el punto sea único
- ✓ Que quede perfectamente identificado el sistema de proyección empleado al localizar el punto.
- ✓ Que permita referenciar la coordenada "z" del punto

Coordenadas polares (geográficas). "Es una unidad cartográfica expresada en grados, minutos y segundos, usado para definir una posición en la tierra sobre una superficie esférica a lo largo de paralelos (Latitudes N y S) y meridianos (Longitudes O y E). Indican la posición horizontal de un punto sobre la superficie de la Tierra en un mapa". Las coordenadas son y proyección cilíndrica y se mide en ángulos.

Figura 29: Representación de coordenadas geográficas

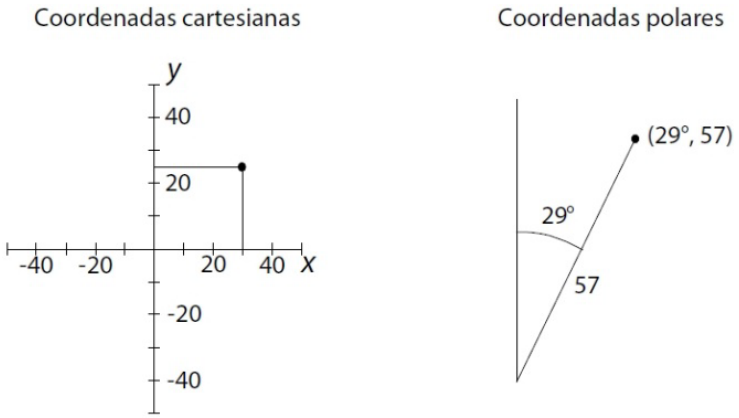


Fuente: (ESRI, 1995).

Coordenadas Cartesianas

(UTM). "Son valores numéricos Norte y Este que permiten representar la posición horizontal de un punto en una Zona de Proyección en valores Sexagesimal. Las coordenadas son de proyección plana y se miden en metros". Los datos geográficos están vinculados directamente con el Datum y por tanto, se define en qué consiste.

Figura 30: Diferencias entre coordenadas cartesianas y polares



Fuente: Martinez & Pilar, (2010)

El Datum. Es cualquier nivel de superficie, línea o punto utilizado como referencia para la medición de otra cantidad. "*No es otra cosa que un modelo aproximado de la forma del geoide en esa zona en particular.* Cada datum se define en función de un elipsoide y por un punto en el que el elipsoide y la tierra son tangentes". En Bolivia se usa el WGS-84 (usado por el GPS) y el local PSAD-56.

El azimut. "Es el ángulo definido por la intersección de la línea central de una proyección cartográfica y cualquier meridiano. Si la proyección cartográfica usa una línea central orientada hacia el norte real, tal como un meridiano normal, entonces el ángulo que incluye azimut es cero".

- **Sistemas de proyección**

"Un sistema de referencia es una convención para identificar la posición de un punto. En cartografía se emplean dos tipos principales de sistemas: los sistemas geodésicos, que son un tipo de sistema polar, y los sistemas proyectados son planos".

El sistema UTM

"De entre los cientos de proyecciones que existen actualmente, algunas tienen un uso más extendido, bien sea por su adopción de forma estandarizada o por sus propias características. Estas proyecciones, que se emplean con más frecuencia para la creación de cartógrafa, son también las que más habitualmente vamos a encontrar en los datos que empleemos con un SIG, por tanto es de interés conocerlas un poco más en detalle. En la

actualidad, una de las proyecciones más extendidas en todos los ámbitos es la proyección Universal Transversa de Mercator, la cual da lugar al sistema de coordenadas".

"UTM. Este sistema, desarrollado por el ejército de los Estados Unidos, no es simplemente una proyección, sino que se trata de un sistema completo para cartografiar la práctica de la totalidad de la tierra, se emplea habitualmente dada la gran importancia militar y, sobre todo, debido a que el Servicio de defensa de Estados Unidos estandariza para su empleo mundial en la década de 1940. Para ello, esta se divide en una serie de zonas rectangulares mediante una cuadrícula y se aplica una proyección y unos parámetros geodésicos concretos a cada una de dichas zonas.

Aunque en la actualidad se emplea un único elipsoide (WGS 84), originalmente este no era único para todas las zonas. Con el sistema UTM, las coordenadas de un punto no se expresan como coordenadas terrestres absolutas, sino mediante la zona correspondiente y las coordenadas relativas a la zona UTM en la que uno se encuentre. La cuadricula UTM tiene un total de 60 husos numerados entre 1 y 60, cada uno de los cuales abarca una amplitud de 6 longitud. El huso 1 se sitúa entre los 180 y 174 O, y la numeración avanza hacia el Este".

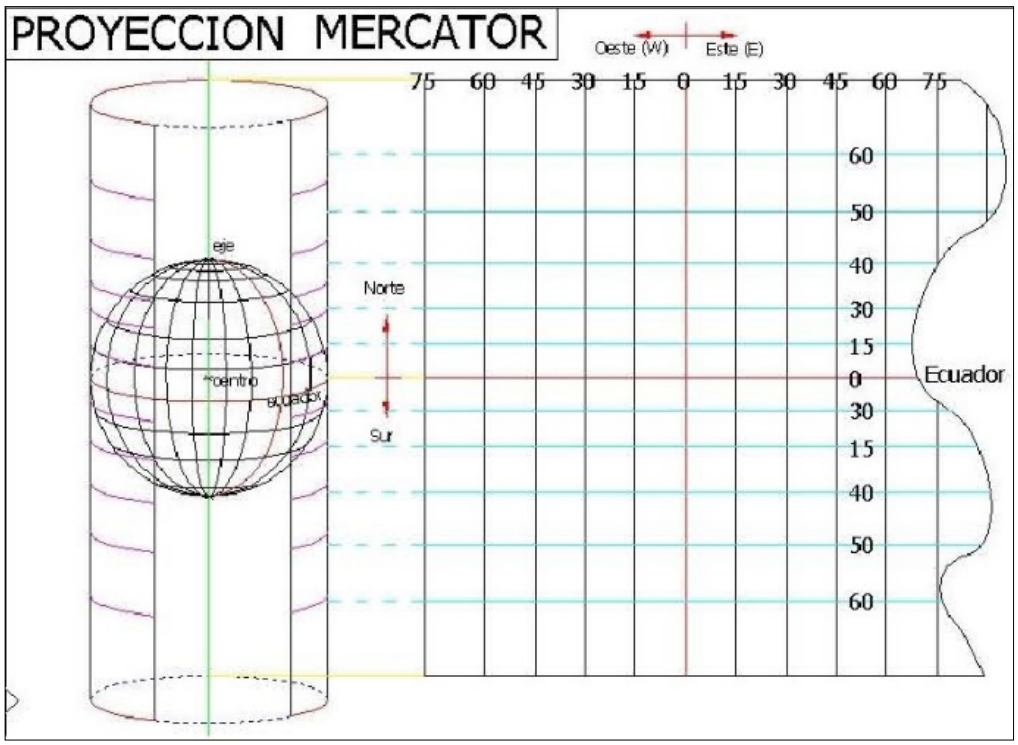
"En latitud, cada huso se divide en 20 zonas, que van desde los 80 S hasta los 84 N. Estas se codifican con letras desde la C a la X, no utilizándose las letras I y O por su similitud con los dígitos 1 y 0. Cada zona abarca 8 grados de longitud, excepto la X que se prolonga unos 4 grados adicionales. Una zona UTM se localiza, por tanto, con un número y una letra, y es en función de la zona como posteriormente se dan las coordenadas que localizan un punto. Estas coordenadas se expresan en metros y expresan la distancia entre el punto y el origen de la zona UTM en concreto. El origen de la zona se sitúa en el punto de corte entre el meridiano central de la zona y el ecuador".

"Para evitar la aparición de números negativos, se considera que el origen no tiene una coordenada X de 0 metros, sino de 500000. Con ello se evita que las zonas al Este del meridiano central tengan coordenadas negativas, ya que ninguna zona tiene un ancho mayor de 1000000 metros (el ancho es máximo en las zonas cerca del ecuador, siendo de alrededor de 668 kilómetros). De igual modo, cuando se trabaja en el hemisferio sur (donde las coordenadas Y serán siempre negativas), se considera que el origen tiene una coordenada Y de 10000000 metros, lo cual hace que todas las coordenadas referidas a él

sean positivas. Para las zonas polares no resulta adecuado emplear el sistema UTM, ya que las distorsiones que produce son demasiado grandes". En su lugar, se utiliza el sistema UPS (Universal Posicion System) (Martinez & Pilar, 2010)

La proyección UTM está dentro de las llamadas proyecciones cilíndricas, por emplear un cilindro situado en una determinada posición espacial para proyectar las situaciones geográficas. "Toma como base la proyección MERCATOR. Emplea un cilindro situado de forma tangente al elipsoide en el ecuador".

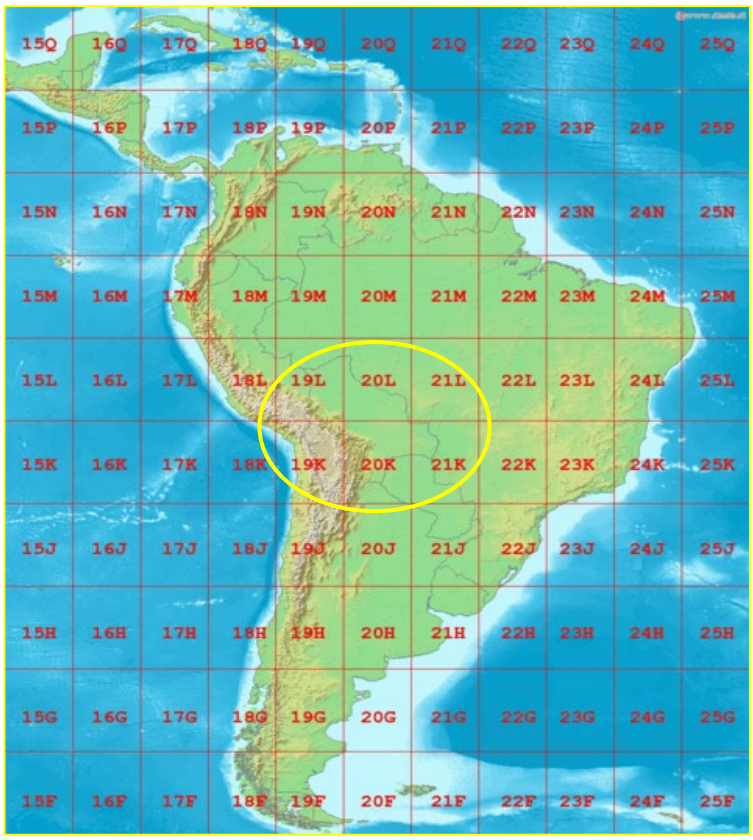
Figura 31: La proyección UTM



Fuente: (ESRI, 1995).

Las zonas geografías de la proyección UTM son 60 y Bolivia se encuentra entre las zonas 19, 20 y 21 del hemisferio sur-oeste, por lo que son negativas. Estas zonas son las que se muestran en el GPS al capturar una localización espacial como 19k, 20k y 21k.

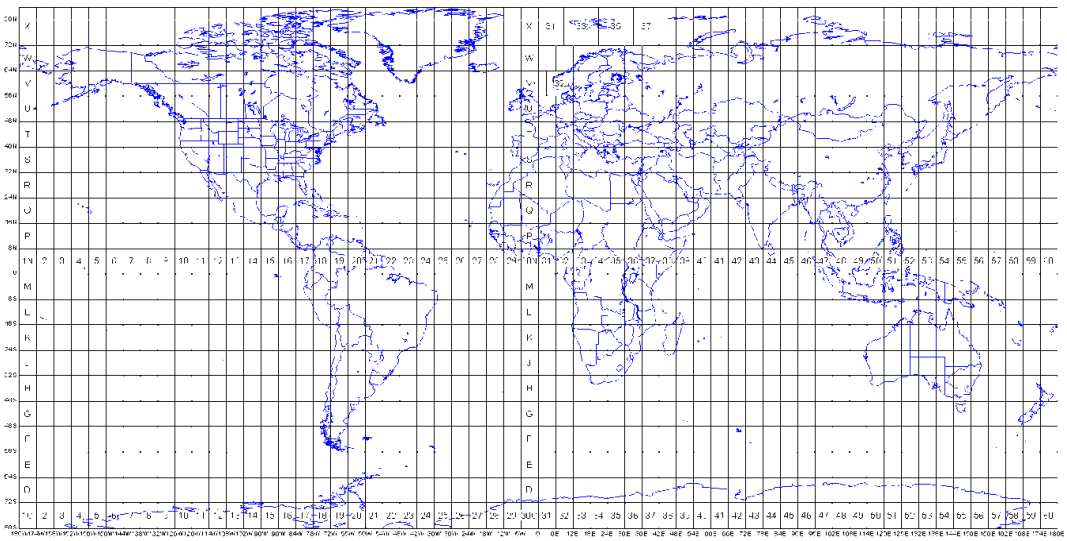
Figura 32: Zonas UTM de sur Bolivia y Sur América



Fuente: (Henry Flores, 2015)

El mundo se divide en 60 zonas de 6º de ancho, que comienzan en los 180º de longitud y se enumeran consecutivamente hacia el Este.

Figura 33: Las 60 zonas del sistema UTM



Fuente: Henry Flores 2015

- GPS en el entorno del SIG

En la actualidad, el uso del GPS constituye una herramienta muy útil dentro de las aplicaciones SIG, y es fuente primaria para realizar el diagnóstico, gestión y planificación de los recursos naturales para una pecuaria sostenible. En cuestiones de procesos de inventariarían, cuantificación, zonificación, modelamiento y otros. Sin este sistema se hace complicado la captura y validación de datos geográficos obtenidos en campo, para realizar seguimientos y monitoreo de proyectos SIG.

1.4.4 Áreas de aplicación del SIG y teledetección

Los sistemas de información geográfica son aplicados en todos los ámbitos donde se maneje información geo referenciada o espacial. Este sistema es flexible y adaptable a cualquier campo del conocimiento, desde la ingeniería hasta las ciencias sociales. "A continuación, en base a Vila & Varga (2008) se detallan algunos de los principales campos de aplicación de los SIG entre los que se destacan de forma directa o indirecta los recursos naturales y el medio ambiente".

- Recursos naturales y medio ambiente. Es precisamente en este campo de aplicación donde nace el primer Sistema de Información Geográfica, el denominado Canadian Geographic Information System (CGIS), que se empieza a implementar en 1967 con el objeto de gestionar los resultados de los inventarios forestales. Los SIG han tenido un gran desarrollo en el ámbito de la gestión forestal, de lo que existen múltiples ejemplos a nivel internacional, empezando por el mismo CGIS. Vinculadas al mundo forestal, se han desarrollado también múltiples aplicaciones sobre prevención de incendios forestales y análisis de las pautas de difusión, que enlazan con la cuestión de los riesgos ambientales.
- *Cambios de cobertura y uso de suelos.* Con la ayuda de los sensores remoto, este campo se ha desarrollado al nivel de determinar el estado actual de cobertura y uso de suelos, realizar proyecciones de uso potencial del suelo y una rápida actualización de la información en un contexto de cambios rápidos".
- Estudios de impacto ambiental, catastro, transportes, redes de infraestructuras básicas, riesgos ambientales, análisis de mercado y Planificación territorial.

CAPÍTULO II

2 MARCO CONTEXTUAL

En este capítulo, se ha revisado bibliografía oficial del PTDI 2016-2020 del municipio de Entre Ríos para contextualizar aspectos claves a la problemática planteada en la tesis (GAM Entre Ríos, 2016)

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

2.1.1 Ubicación y superficie

El Municipio de Entre Ríos, corresponde a la Sexta Sección de la Provincia José Carrasco, una de las 16 provincias y forma parte de los 47 municipios del Departamento de Cochabamba, localizada en la parte Este. "De acuerdo a la promulgación de la Ley Nº 2126 de septiembre del año 2000. Geográficamente se encuentra ubicada entre las coordenadas: 17º 00' a 17º 27' de Latitud Sur y de 64º 02' a 64º 43' de Longitud Oeste a una altitud media de 250 msnm. De acuerdo al PMOT, 2004, aprobado en septiembre de 2005, la extensión superficial del Municipio alcanza a 2197.03 km^2. Limita al Norte y al Este con la Provincia Ichilo del Departamento de Santa Cruz, al Sur con el Municipio de Pojo y al Oeste con el Municipio de Puerto Villarroel.

2.1.2 Distritos municipales

De acuerdo al censo de población y vivienda, el municipio de Entre Ríos, tiene una población para el año 2012 de 31.550 habitantes. El distrito 3 Entre Ríos Centro Poblado 6.600 sindicatos 3.744 habitantes, el distrito 5 Isarzama Centro Poblado 2.267 habitantes sindicatos 3.965; Distrito 1 Bulo Centro Poblado 2.725 Sindicatos 2.329 habitantes, el distrito 4 Manco Kapac Centro Poblado 1.977 habitantes Sindicatos 2.838 habitantes y el distrito 2 Rio Blanco Centro Poblado 2.209, Sindicatos con 2.896 habitantes. Con una tasa anual de crecimiento de 2.61%.

Tabla 10: Distritos del municipio de Entre Ríos

DISTRITO	NOMBRE	CENTRALES
I	Bulo – Bulo	BuloBulo, 18 de octubre, Tupaj Katari, 25 de Abril.
II	Río Blanco	Río Blanco, Ichoa.
III	Entre Ríos	22 de Mayo
IV	Manco Kapac	Mamorecillo A, Mamorecillo B, Villa Unión, 21 de septiembre.
V	Isarzama	Isarzama, Independiente, 25 de Octubre.
VI	Parque Nacional Carrasco	No existe poblados es una zona de protección y conservación de la biodiversidad.

Fuente: (GAM Entre Ríos, 2016)

2.2 Recursos naturales

2.2.1 Vegetación

El municipio de Entre Ríos, forma parte de la Región Amazónica, en la misma se tiene la formación de bosque húmedo de llanura. "El bosque húmedo de llanura de la región amazónica, se caracteriza por presentar una planicie de suelos aluviales de origen Cuaternario; la altitud varía entre 150 y 250 msnm y debido al reducido relieve, la gran mayoría de los bosques tiene un drenaje deficiente". El clima es subhúmedo con 2 a 4 meses secos y la precipitación anual varía entre 1200 a 1800 mm; la temperatura anual media es de 25 ºC (Miranda, 2013).

"La llanura presenta bosques de altura, bosques inundados y bosques y/o anegados. Esta zona, se caracteriza por formaciones de bosques húmedos siempre verdes, bosques de galería y sabanas con gramíneas asociadas a islas de bosque. Entre las especies más representativas se tiene: Hura crepitans (Ochoó), Dipteryx odorata (Almendrillo), Terminalia oblonga (Verdolago), Swietenia macrophylla (Mara), Huberodendron sweitenoides (Mara macho), Cecropia sp. (ambaibo), Ceiba pentandra (Mapajo), Guarea macrophylla (Trompillo)". (Euroconsult: 1999; SNAP: 2002). Las palmas Iriartea deltoidea (copa), Bactris gasipaes (chonta de castilla) y Jessinia bataua (majo) son comunes hasta abundantes (GAM Entre Ríos, 2016).

"Este bosque es característico de la provincia Carrasco, entre el río Ichilo hacia el río Isarzama, parte del municipio de Chimoré y la zona Norte del municipio de Villa Tunari.

La localidad Valle Sajta es una zona bien representativa de este tipo de bosque. Bosque denso, mayormente siempre verde, pluviestacional, de tierras bajas; corresponde a la formación de bosque húmedo de llanura (hasta 500 msnm). El trópico de Cochabamba es una zona representativa de este tipo de bosque. Son comunidades heterogéneas de árboles con alturas de 40 a 50 m, tronco regular, cilíndrico, corteza liza y gruesa, con especies de crecimiento rápido, algunos árboles con raíces tablares, zancos, fulcreas y con presencia de epifitación en áreas con excesiva humedad.

Esta unidad se caracteriza por la presencia de árboles emergentes sobre el estrato superior. El sotobosque es denso, y compuesto de la regeneración de palmeras, lianas y bejucos presentes en número reducido. Especies que sobresalen: Ceiba pentandra, Hura crepitans, Terminalia amazonica, Dipteryx adorata, y Swietenia macropylla, Peltogyne nitens y Schinopsis haenkeana; con vegetación pionera en playa de los ríos: Tessaria integrifolia, Gynerium sagittatum y salix humboldtiana".

- **Usos de la vegetación**

La indiscriminada intervención humana por los chaqueos y la irracional explotación forestal en la vegetación, están causando una pérdida gradual de especies, corriendo el peligro de quedar el bosque remanente degradado.

Los recursos no maderables del bosque, como las plantas herbáceas y arbustivas, productos vegetales como las resinas, principios activos y otros; constituyen una fuente potencial de producción de materia prima para la industria química y medicinal, constituyendo un banco de germoplasma en el lugar.

2.2.2 Suelo

De acuerdo al estudio edafológico realizado en el municipio, efectuado en base a la identificación y delimitación de las unidades de tierras de imágenes satelitales, y la información básica proporcionada con la que cuenta la alcaldía, se han identificado las siguientes unidades de suelos:

Tabla 11: Unidades de suelo del municipio de Entre Ríos

Unidades de Suelos	Clasificación Taxonómica (nivel de Sub-grupo)	Extensión Superficial	
		km^2	%
S.I.3.2	Complejo El Palmar	18,15	1,37
S.I.3.3	Asociación Ambrosia	117,55	8,89
S.I.3.4	Asociación Bello Horizonte	50,45	3,81
S.I.3.5	Consociación Lonvadero	10,25	0,77
S.2.2.1	Complejo Bomborozama	0,97	0,07
S.2.2.2	Consociación San Lorenzo	15,03	1,14
S.3.2.2	Consociación San Pedro	159,14	12,03
L.1.2.1	Asociación Salital	8,74	0,66
L.1.2.2	Consociación Río Viejo	7,22	0,55
L.1.2.3	Asociación Sajta - Cristal	9,85	0,74
L.1.2.4	Asociación Cerro Verde - Agua Rica	19,75	1,49
L.1.2.5	Consociación Rincón	47,16	3,57
L.1.2.7	Asociación Nuevo Amanecer - Rumi Tambo	9,43	0,71
L.1.2.8	Consociación Coripata	0,99	0,07
L.1.2.10	Asociación Surubí - Illimani	130,64	9,88
L.1.2.11	Asociación San Miguel	79,29	5,66
L.2.7.1	Asociación Santa Fe - Eñe	111,36	8,42
L.2.7.2	Asociación Villa Imperial - Ichoa	199,47	15,08
L.2.7.3	Consociación Los Amigos - Consociación San Pablo	56,37	4,26
L.2.7.4	Consociación Sajta I	9,39	0,71
L.2.7.5	Consociación Palizada	7,3	0,55
L.2.7.6	Asociación Iviringa Sacta II	0,77	0,06
L.2.7.7	Consociación Almendrillo	3,14	0,24
L.3.3.1	Complejo Veja Baja	2,34	0,18
L.3.3.3	Asociación Tortuga	6,99	0,53
L.3.3.4	Asociación Salvador	3,03	0,23
L.3.3.5	Asociación Israel - Arroyo Nuevo	24,56	1,86
L.3.3.7	Asociación Ayopaya	10,63	0,8
L.3.3.8	Asociación Manantial	2,93	0,22
L.3.3.9	Asociación La Estrella - Puerto Sucre	86,51	6,54
L.4.2.1	Consociación Valle Ivirza	19,14	1,45

Fuente: (GAM Entre Ríos, 2016)

Existe tierras con fuertes limitaciones por una baja fertilidad, problemas de disponibilidad de oxígeno, áreas con alto riesgo de inundación y otras con riesgos de erosión, por ello es que, en el municipio no se presentan tierras aptas para un uso agrícola intensivo y sostenible. Sin embargo, se cuenta con tierras aptas para otros usos, en menor escala.

2.2.3 Áreas protegidas en el municipio

Parque nacional Carrasco. Esta unidad territorial fisiográficamente forma parte de las zonas más bajas y ocupa más del 50% del territorio del Municipio de Entre Ríos. Las áreas protegidas cuentan con su propio plan de manejo. Por tanto, es importante que el municipio coordine actividades conjuntas con el gobierno nacional a través del Servicio Nacional de Áreas Protegidas - SERNAP, de acuerdo a las categorías de uso de la zonificación del Parque nacional Carrasco. Esta unidad debe ser manejada con el objeto de proteger las cuencas por las fuentes de agua, vegetación, fauna silvestre, etc. Se recomienda la protección de estas áreas por el grado de fragilidad que presenta y principalmente por los recursos hídricos que acogen estas unidades. No se debería efectuar quemas, habilitación de cultivos ni pastizales. El Parque nacional Carrasco, fue creado bajo el nombre de Parque Nacional Carrasco-Ichilo el 9 de diciembre de 1988. El 11 de octubre de 1991, a través del Decreto Supremo N°229401.

2.3 Aspectos físico naturales

2.3.1 Clima

El municipio de Entre Ríos está conformado por regiones de montaña, pie de monte, colinas bajas y llanuras aluviales, todas ellas con la presencia de una exuberante vegetación arbórea, y con altitudes que varían entre 238 m.s.n.m. y 1.690 m.s.n.m. Según la clasificación de “zonas de vida”, el área de ubicación de Entre Ríos está constituida por Bosque Pluvial Subtropical (BP-st), Bosque muy Húmedo Sub Tropical (BM-st), Bosque Húmedo Tropical (BH-st) e incrustaciones de Bosque Húmedo Tropical (BH-T). El clima preponderante es el tropical, la temperatura media anual oscila entre 22° a 24° C, las precipitaciones son variables de acuerdo a los pisos ecológicos y están comprendidas en un rango de 4.000 a 6.000 mm por año como promedio. Esta zona además de ser lluviosa, se caracteriza por presentar un elevado porcentaje de días nublados y un reducido número de horas de sol, que impiden la evaporación y transpiración, lo cual aumenta aún más el grado de humedad tanto del suelo como del aire. Este clima es favorable a las enfermedades patogénicas de las plantas cultivadas (pero es relativamente libre de insectos nocivos).

2.3.2 Altitudes

El municipio de Entre Ríos está conformado por regiones de montaña, pie de monte, colinas bajas y llanuras aluviales, todas ellas con la presencia de una exuberante vegetación arbórea, y con altitudes que varían entre 238 m.s.n.m. y 1.690 m.s.n.m. Según la clasificación de "zonas de vida", el área de ubicación de Entre Ríos está constituida por Bosque Pluvial Subtropical (BP-st), Bosque muy Húmedo Sub Tropical (BM-st), Bosque Húmedo Tropical (BH-st) e incrustaciones de Bosque Húmedo Tropical" (BH-T).

2.3.3 Fisiográfica

"Las características del relieve en el Municipio muestran dos macro áreas bien delimitadas: la que se encuentra hacia la parte norte de la carretera interdepartamental y la que se encuentra hacia la parte sur de la misma. La parte norte, que corresponde a zonas de llanura y terrazas recientes, corresponde al 14% del total del territorio y presenta mayor homogeneidad fisiográfica. En esta zona se encuentran mejores resultados en la producción agrícola y una buena red de servicios o casi planas con continuidad. En esta macro área, se da en las terrazas antiguas ubicadas a orillas de los ríos Ivirizu, Dogo Poza, Uraboca o Icharco. Tienen mayores posibilidades productivas y fisiográficamente corresponden a llanuras fluviales".

2.4 Aspectos económicos productivos

2.4.1 Tenencia del suelo

En el Municipio de Entre Ríos, el régimen de tenencia de la tierra está basado en diferentes formas jurídicas: en propiedad, por asentamiento, al partido, alquilado. Éstas son el resultado de un proceso concreto de desarrollo que comienza con la política de colonización dirigida y continua con la presencia de flujos migratorios (colonización espontánea) cuya magnitud e intensidad, apreciable por etapas, han estado condicionadas por diversos factores.

Una primera etapa corresponde al periodo que comprende desde principios de siglo hasta la Revolución Nacional de 1952; una segunda etapa va desde los años 1952 a 1953 hasta principios de la década de los 70 y la tercera etapa, en la que se registran los más importantes movimientos poblacionales, se extiende desde principios de la década de los

70 hasta nuestros días. “En el caso de las colonias dirigidas inicialmente, fue el Instituto Nacional de Colonización (INC) el que organizaba el proceso productivo.

El plan de cultivos contemplaba básicamente arroz, cítricos, piña y plátano, más la prohibición de cultivar coca. En el caso de la colonización espontánea, la distribución de la tierra se realiza a través de la organización en colonias que, al asentarse en un territorio determinado, funda un sindicato”.

“El sindicato distribuye las parcelas, organiza el trabajo de asentamiento que supone apertura de vías de acceso a las parcelas, acepta o rechaza el ingreso de nuevos miembros y se ocupa de legalizar el asentamiento ante el Estado. Las parcelas distribuidas por este medio no ascendían a más de 20 Has por colono. Una vez consolidado el asentamiento, el sindicato organiza el trabajo colectivo para la apertura de nuevos caminos y el mantenimiento de otros, la construcción de la escuela o la posta sanitaria y otras obras de beneficio colectivo”. En la actualidad muy pocas colonias cuentan con un promedio de tenencia como el señalado, debido al crecimiento vegetativo, a los nuevos flujos poblacionales y a las eventuales transacciones de tierras.

2.4.2 Principales cultivos y variedades

El colono se halla íntimamente ligado a “la economía de mercado, pero lo característico es, que de acuerdo a la demanda y oferta se privilegia a determinados productos: la coca, aunque en pequeña escala sigue siendo el cultivo de transacción en el mercado, en tanto que el arroz, yuca, maíz, cítricos preferentemente para el autoconsumo”. Es en función a estos cultivos, que todavía se organiza todo el proceso productivo agrícola en el municipio de Entre Ríos. Paralelamente a esta actividad principal, los agricultores vienen manejando un sistema pluricultivo, diversificación pecuaria y actividades económicas informales (comercio, talleres técnicos y otros), previniendo los riesgos naturales, y la incertidumbre económica y política no quiere decir que los demás estén exentos de la producción agropecuaria.

Tabla 12: Cultivos principales del municipio de Entre Ríos

CULTIVOS	VARIEDADES
Arroz	Americano Dorado Noventón Carolina Pico Negro Estaquilla
Maíz	Cubano Blanco
Coca	Mandeola Nativa
Yuca	Morada o Suela Gara Noventón (Quinsa Quillero) Rosadillo Blanco
Banano	Mogotaqui Guayaquil Isla Isla Morada Avelle, Walili Papacha Guineo
Piña	Rosada Blanca (brasilera) Morada Cayana lisa
Maní	Criollo Blanco Rosado
Hualuza	Japonesa
Caña de Azúcar	Morada Blanca
Cítricos	Naranja Lima Limón Pomelo Mandarina
Otros frutales	Mango Palto (aguacate) Chirimoya Pacay Papaya Tembe

Fuente: (GAM Entre Ríos, 2016)

La agricultura en Entre Ríos todavía está basada en sistemas de subsistencia, en los que la seguridad alimentaria es la prioridad. Los sistemas tradicionales de cultivo, de chaqueo y quema, se caracterizan por su baja productividad, dada la falta de mano de obra y capital, y a la predominancia de suelos con baja fertilidad. En muchos casos, las reducciones de los períodos de descanso (barbecho o chume) causados por la falta de

mano de obra necesaria para el chaqueo, resultan en la restauración incompleta de la fertilidad durante el descanso, y por esta razón ocurre un proceso de degradación de los suelos y disminución de productividad, especialmente en los suelos menos fértiles. Las limitaciones específicas manifestadas por los campesinos como causas de la baja productividad de la tierra cultivada actualmente son:

- Falta de asesoramiento técnico,
- Falta de infraestructura vial,
- Falta de mercado y precios bajos para sus productos,
- Problemas agronómicos tales como la baja fertilidad de los suelos, malezas, o infestaciones de plagas y enfermedades,
- Falta o alto precio del transporte,
- Falta de créditos,
- Inundaciones.

Finalmente, las opciones para aumentar la productividad, sea a través del aumento de la frontera agrícola, o incremento de la productividad por unidad de superficie, están limitadas por:

- La falta de mano de obra necesaria para el chaqueo.
- El capital necesario para la adquisición de agroquímicos.
- La contratación de mano de obra adicional.
- El reducido tamaño de algunas parcelas.

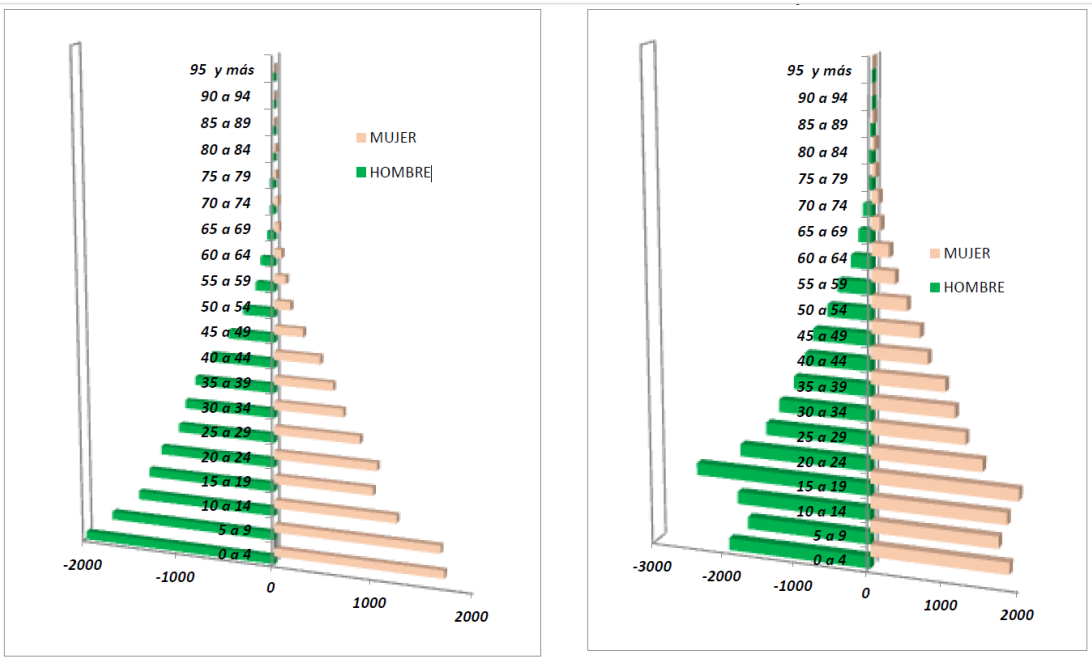
2.4.3 Demografía

El número de habitantes en Bolivia se ha incrementado en el período 2001 - 2012 de 8.274.325 a 10.059.856, presentando mayor crecimiento en el área urbana (35,86%) que en el área rural (16,1%). De esta manera, el país tiene una densidad poblacional de 9,1 habitantes por km^2 mayor que en 2001, cuya densidad era de 7,6 habitantes por $Km^{2.}$

El departamento de Cochabamba presenta una población de 1.762.761 habitantes con una tasa de crecimiento promedio anual del 1,68% (2001 - 2012), el área urbana cuenta con 1.200.912 habitantes con una tasa de crecimiento del 4,21%. En tanto que el área rural presenta una población de 561.849 y una tasa de crecimiento del 1,33%. (GAM Entre Ríos PDM 2014, 2014). Referente al municipio de Entre Ríos, el número de habitantes se incrementó durante el periodo 2001 - 2012 de 22.187 a 31.550, lo que representa una tasa

anual de crecimiento de 2,61%, que supone un porcentaje mayor al presentado a nivel departamental.

Figura 34 :Estructura etaria de la población del municipio de Entre Ríos



Fuente: (GAM Entre Ríos PDM 2014, 2014) basado en datos del INE 2012.

Desde la ciudad de Cochabamba a Entre Ríos hay una distancia aproximada de 259 km. El tiempo de viaje desde la ciudad de Cochabamba a Entre Ríos, es de aproximadamente 3 horas con 48 minutos. El 51% de la población del municipio considera que el estado de los caminos está en regular estado, el 33% consideran que sus caminos están en mal estado. Por último, solo un 3% califica como bueno. El acceso al 14 % de los centros poblados es inexistente.

Actualmente FONADAL ha venido apoyando con infraestructura caminera. La comunidad Monte Rico cuenta con una vía de una extensión de 10 ml, y un ancho de vía de 4 ml, esta infraestructura permite el acceso de vehículos y el traslado oportuno de productos como cítricos, bananos y otros a los mercados locales, departamentales y nacionales.

Esta obra beneficia a 500 familias en forma indirecta, quienes sufrían al transportarse por la crecida de los ríos y el deterioro de puentes construidos en forma precaria. Asimismo, 300 familias de la Comunidad Segunda Volcán – Bulo, se benefician con el proyecto de construcción de un puente vehicular que coadyuva a los productores a mejorar sus

ingresos, pues realizan el traslado de sus productos a través de la infraestructura vehicular que tiene una extensión de 7 m.

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS

3.1 Resultados

A continuación, se presentan los resultados que se lograron y que están enmarcados en los objetivos específicos planteados.

3.1.1 Definición de categorías de uso de suelos en base al Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra (LCCS)

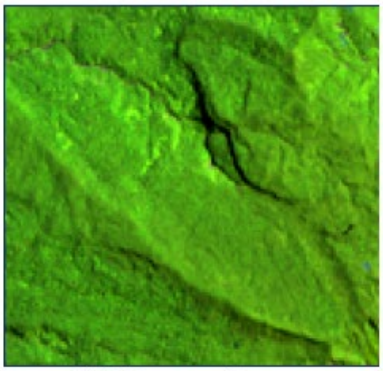
Las categorías de uso de suelos se han definido tomando en cuenta los criterios de los descriptores o clasificadores que son agrupados según los aspectos fisonómicos; tratándose de cobertura vegetal natural y tipos de uso de los suelos basados en los sistemas de producción agropecuaria del municipio de Entre Ríos. Para las coberturas de cuerpos de agua y zonas urbanas se tomaron en cuenta el aspecto y geoforma según el mapa de vegetación de Navarro y Ferreira (2007). En el primer viaje a campo, se efectuó una clasificación no supervisada preliminar, generando categorías preliminares de usos de suelos con el apoyo de la interpretación visual en campo. Al final se definió seis categorías, que se presentan con una descripción detallada e ilustrada con paisajes representativos en las imágenes satelitales.

En la tabla 13, se presenta a detalle las categorías de uso definidas y usadas para la clasificación supervisada de las imágenes Landsat 8 y calcular los cambios de uso de suelo durante los periodos 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022 del municipio de Entre Ríos.

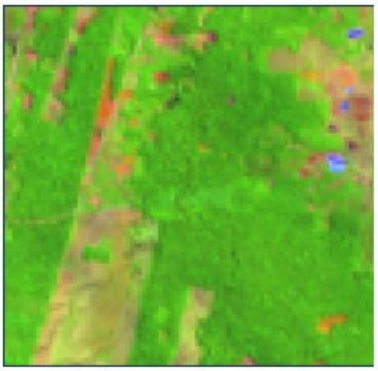
Tabla 13: Leyenda temática de categoría de uso de suelos determinadas para el análisis multitemporal

CATEGORÍA DE USO DE SUELO	Cod	DESCRIPCIÓN
Bosque Yungas	BY	"Son formaciones con un estrato de árboles que cubre al menos el 60% de la superficie; las copas frecuentemente se tocan entre sí. Se caracteriza por tener una vegetación de bosque denso, húmedo y perennifolio que rivaliza en biodiversidad con la selva tropical amazónica. Se ubica en altitud de 300 o 600 m s. n. m. hasta los 3000 o 3800 m s. n. m."
Bosque Amazónico	BA	"Formaciones en las que la cobertura de árboles y matorral, menor del 25%, mientras que las plantas herbáceas (graminoides, dicotiledóneas y pteridófitos) supera ese umbral. También se incluyen aquellas formaciones con menos del 25% de cobertura de árboles, matorral y matorral, siempre que la cobertura total de plantas sea mayor del 10% y la de herbáceas supere a la de las demás clases (árboles, matorral y no vasculares)".
Uso Agropecuario	UA	Son áreas usadas para cultivos de coca, bananas, piñas y otros. Incluyen prácticas de ganadería menor y mayor.
Suelo desnudo	SD	Son áreas que están descubiertos, tales como las playas y derrumbes.
Cursos y cuerpos de agua	CA	En esta categoría están formados por ríos, lagunas y estanques de piscicultura.
Zona Urbana	ZU	Se caracteriza por asentamientos humanos, formado por pueblos, comunidades y otras construcciones.

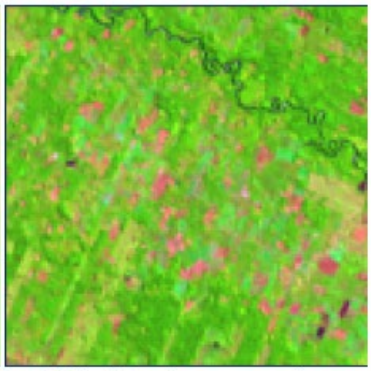
A continuación, se presentan una descripción fotográfica de categorías de uso de suelos:



BY=Bosque Yungas



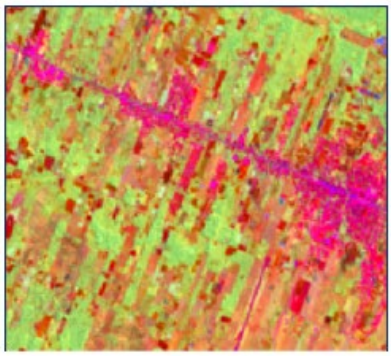
BA=Bosque Amazónico



UA=Uso Agropecuario

SD=Suelo desnudo

CA=Cursos y cuerpos de agua



ZU=Zona Urbana

3.1.2 Análisis multitemporal de cambios de uso de suelos

3.1.2.1 Cuantificación del uso de suelos

Resultados del análisis multitemporal a través de la clasificación supervisada y respaldadas con puntos de control obtenidos en campo y el muestreo de firmas espectrales en las seis categorías de uso de suelo predefinidas. Esto permitió cuantificar el uso de suelos por categoría para los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022 que se muestra en la tabla 14. Esta ilustra el porcentaje (%) y cantidad de superficie km^2 que cubre respecto al total de la superficie del municipio de Entre Ríos.

Tabla 14: Superficies y porcentajes por categorías de uso de suelos para los años en estudio

Cod	2013		2015		2017		2019		2021		2022	
	Sup. km2	%	Sup. km2	%	Sup. km2	%	Sup. km2	%	Sup. km2	%	Sup. km2	%
UA	235.80	10.73	238.05	10.83	197.46	8.99	213.33	9.71	246.96	11.24	233.87	10.64
ZU	31.16	1.42	30.68	1.40	29.99	1.36	33.04	1.50	32.90	1.50	33.89	1.54
CA	38.65	1.76	42.51	1.93	44.87	2.04	38.71	1.76	37.98	1.73	28.46	1.30
BY	1297.63	59.06	1329.88	60.53	1228.2	55.91	1254.67	57.11	1127.39	51.31	1070.74	48.74
SD	17.53	0.80	24.02	1.09	24.01	1.09	33.19	1.51	33.33	1.52	29.29	1.33
BA	576.25	26.23	531.90	24.21	672.43	30.61	624.09	28.41	718.47	32.70	800.77	36.45
	2197	100	2197	100	2197	100	2197	100	2197	100	2197	100

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 15 se muestra la variación en ganancia y pérdidas en superficies (km^2) y (%) calculados de las seis categorías de uso de suelos para los años 2013 – 2022 durante un periodo de 9 años. En esta, la categoría Bosque Yungas perdió una superficie de 226.89 km^2 entre los años 2013 al 2022; los cursos y cuerpos de agua perdieron 10.19 km^2, el uso agropecuario perdió 1.93 km^2. Los que incrementaron fueron el bosque amazónico y ganó 224.52 km^2, el suelo desnudo incrementó 11.77 km^2 y por último la zona urbana, 2.72 km^2. Para ilustrar mejor la dinámica de la variación entre estos años se presentan las pérdidas y ganancias de superficies por categorías de uso de suelos en la siguiente tabla.

Tabla 15: Ganancias y pérdidas en superficies km2

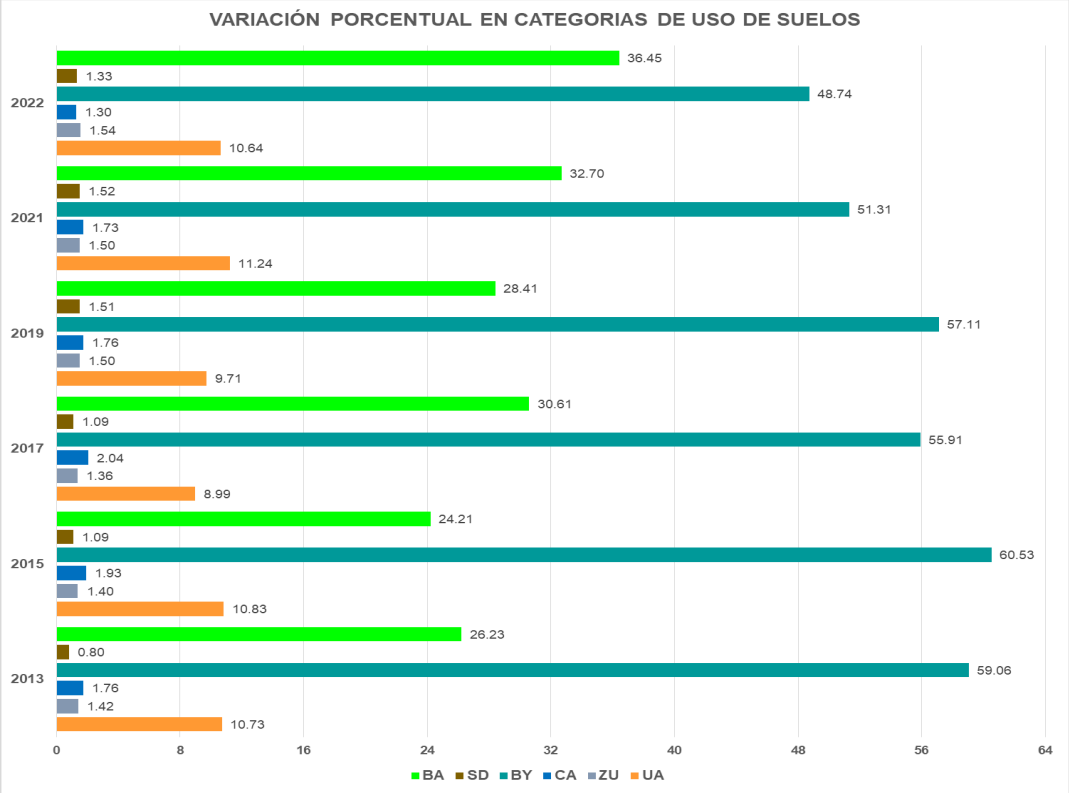
CATEGORÍAS DE USO	Cod	Sup. 2013	Sup. 2022	Periodo 2013-2022
				Pérdida/Ganancia km2
Uso Agropecuario	UA	235.80	233.87	-1.93
Zona Urbana	ZU	31.16	33.89	2.72
Cursos y cuerpos de agua	CA	38.65	28.46	-10.19
Bosque Yungas	BY	1 297.63	1 070.74	-226.89
Suelo Desnudo	SD	17.53	29.29	11.77
Bosque Amazónico	BA	576.25	800.77	224.52
TOTALES		**2197.03**	**2197.03**	**0.00**

Fuente: Elaboración propia

Como es un patrón común en ecosistemas que se presenta en el municipio de Entre Ríos, tanto la tabla 14 y la figura 35 donde se encuentran todas las categorías de uso de suelo que han sufrido variación con pérdidas y ganancias en superficies (km^2) entre los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022. Esto está influenciado por factores de las

actividades antropogénicas, principalmente por la agropecuaria y los efectos del cambio climático con las variaciones en fechas de las precipitaciones que ocurren año tras año.

Figura 35: Ganancia y pérdidas en km2 por categorías de uso entre los años en estudio



Nota: Uso Agropecuario UA, Zona Urbana ZU, Cursos y cuerpos de agua CA, Bosque Yungas BY, Suelo Desnudo SD, y Bosque Amazónico BA

Se ha logrado sub productos de la clasificación supervisada de imágenes satelitales con los que se han elaborado mapas temáticos de uso de suelos del municipio de Entre Ríos para los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022 que se adjuntadas en anexo 7.

3.1.2.2 Cálculo de NDVI, NDWI y IAF

Se ha calculado indicadores de degradación y conservación de los recursos naturales de manera especial en evaluar dinámicas en los cambios de usos de suelo y coberturas vegetales; entre las técnicas derivadas del uso de datos satelitales multiespectrales son el empleo de los índices de vegetación. El NDVI ayudó a diferenciar la vegetación de otros tipos de cobertura del suelo (artificial) y determinar el estado general, como también permitió definir y visualizar áreas con vegetación en el mapa, así como detectar cambios anormales en el proceso de crecimiento.

La interpretación de los valores del NDVI va de -1 a 1. Los valores negativos corresponden a áreas con superficies de agua, estructuras hechas por el hombre, rocas, nubes o nieve; el suelo desnudo suele estar dentro del rango de 0,1 a 0,2 y las plantas siempre tendrán valores positivos entre 0,2 y 1. El dosel (bosque yungueño) de la vegetación densa y saludable debería estar por encima de 0,5. La vegetación dispersa estará muy probablemente dentro del rango de 0,2 a 0,5. Sin embargo, es sólo una regla general y siempre hay que tener en cuenta la estación, el tipo de planta y las peculiaridades regionales para saber la interpretación de los valores del NDVI correcta. En la tabla 16, se muestra las medidas descriptivas del NDVI por año, en la que se destaca que el valor máximo es 0.942 en el año 2013, mientras que para el año 2022 fue de 0.898; esto indica que redujo en 0.044, pudiéndose interpretar como pérdida de la cobertura vegetal.

Tabla 16: Medidas descriptivas de NDVI de las gestiones en estudio

Estadísticas	Años					
	2013	2015	2017	2019	2021	2022
Min	-1	-0.646	-1	-1	-0.918	-1
Max	0.942	0.895	0.892	0.892	1	0.898
Med	0.772	0.763	0.763	0.763	0.752	0.763
Std Dev.	0.124	0.109	0.125	0.125	0.134	0.139

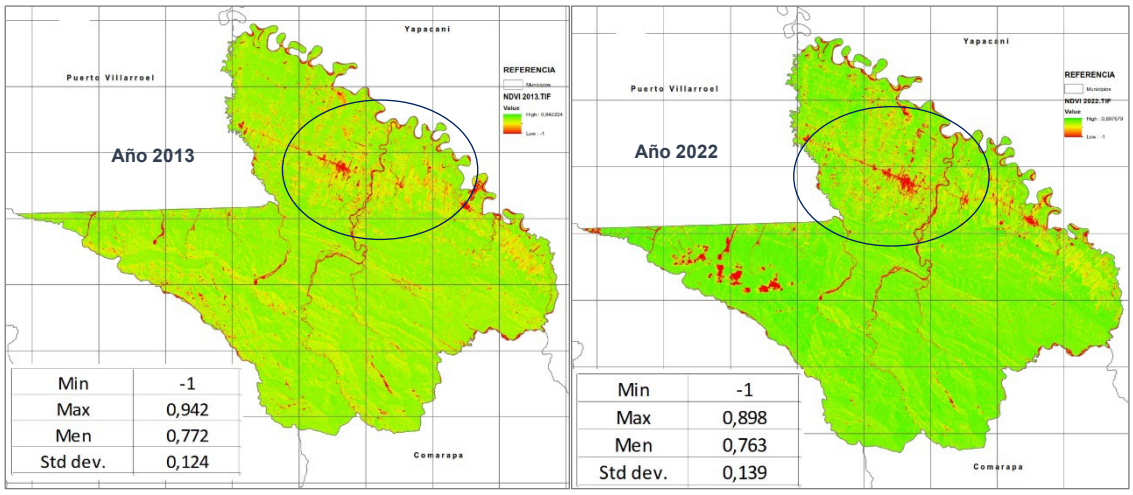
Fuente: Elaboración propia.

Los índices NDVI, NDWI y IAF empleados fueron aplicados a las bandas de las imágenes Landsat 8, y las ecuaciones que están detallados en la parte metodológica. El NDVI mide la salud de la vegetación hasta el suelo desnudo, mientras el NDWI determina la cantidad de agua que posee la vegetación o el nivel de saturación de humedad que posee el suelo del municipio de Entre Ríos. Y finalmente se ha calculado el Índice de Área Foliar (IAF) que ha proporcionado información de la cantidad de superficie fotosintética presente con relación a la superficie total del municipio. Esto se relaciona con los procesos vitales como son la fotosíntesis, la respiración, y la productividad. Para esta investigación se ha realizado mapas temáticos del NDVI, NDWI y IAF para los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022 que se adjunta en los anexos 4 a 6.

En la figura 36, se pueden ver las diferencias entre cobertura vegetal y suelos desnudos zonas urbanas. Los valores de NDVI se encuentran en un rango entre -1 a 0.898 para el 2013 y -1 a 0.942 para el año 2022. De acuerdo con la clasificación de NDVI, los valores

más bajos corresponderían a áreas sin cobertura y las mayores muestran la vegetación que es el bosque Yungueño y Amazónico.

Figura 36: Resultados del análisis del NDVI de gestión 2013 y 2022



3.1.2.3 Validación de análisis

El proceso de clasificación supervisada y la extracción temática es un problema que va del estudio de reflectividad de las coberturas presentes en la imagen satelital Lansat 8 y de la distribución espacial de las categorías de uso definidas. Para esto ha sido importante comprender el proceso de clasificación a través de reglas espaciales y el contexto biofísico del municipio de Entre Ríos. Esto fue cubierto con la experiencia adquirida del investigador al trabajar en el área de estudio después de haber realizado dos ingresos de campo, con la finalidad de obtener la recolección de datos geográficos y la caracterización de los usos de suelos.

Para validar la calidad y la consistencia de los resultados de clasificación supervisada de las imágenes satelitales de los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022 se ha calculado matrices de coincidencia, donde la mediana es de 93.41%, siendo confiable el análisis digital de las imágenes satelitales (clasificación supervisada) por gestión, los cuales se muestran en la tabla 17. En este, también se ilustra la comparación entre la pérdida/ganancia de superficies (km^2) con el porcentaje de cambio y la mediana de la confiablidad de los resultados de análisis multitemporal de las seis categorías de uso; donde los cuerpos de agua tiene la mayor coincidencia de 99.22% con un porcentaje de cambio de -0.466% que equivale a la pérdida de 10.19 km^2, mientras el bosque amazónico

tiene la menor coincidencia de 81.36% con un porcentaje de cambio 10.22% equivalente en ganancia de 224.52 km^2.

Tabla 17: Medianas de matriz de coincidencia por gestiones

CATEGORÍAS	2013	2015	2017	2019	2022	Mediana Coincidencia	Pérdida/ Ganancia km2	% de cambio
BOSQUE YUNGAS	88.06	80.53	88.06	93.88	98.94	**88.06**	**-1.93**	**-0.09**
ZONA URBANA	93.68	88.57	93.68	100.0	92.78	**93.68**	**2.72**	**0.12**
CUERPOS DE AGUA	99.22	97.62	99.22	95.70	100.00	**99.22**	**-10.19**	**-0.46**
USO AGROPECUARIO	95.96	96.97	95.96	82.17	91.94	**95.96**	**-226.89**	**-10.33**
SUELO DESNUDO	94.12	88.54	94.12	87.27	93.14	**93.14**	**11.77**	**0.54**
BOSQUE AMAZÓNICO	88.24	70.25	88.24	75.47	81.36	**81.36**	**224.52**	**10.22**

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan las matrices de coincidencia que detallan la confiablidad de la clasificación supervisada de imágenes satelitales Landsat 8 ejecutadas para todos los años en estudio.

Tabla 18: Matriz de coincidencia de la gestión 2013

MATRIZ DE COINCIDENCIA GESTIÓN 2013								
RASTER _VALU	USO AGROPECUARIO	ZONA URBANA	CUERPOS DE AGUA	BOSQUE YUNGUEÑO	SUELO DESNUDO	BOSQUE AMAZÓNICO	TOTAL	PRECISION
USO AGROPECUARIO	118.00	9.00	0.00	1.00	0.00	6.00	134.00	**88.06%**
ZONA URBANA	3.00	89.00	0.00	0.00	3.00	0.00	95.00	**93.68%**
CUERPOS DE AGUA	0.00	0.00	127.00	0.00	1.00	0.00	128.00	**99.22%**
BOSQUE YUNGUEÑO	0.00	0.00	0.00	95.00	0.00	4.00	99.00	**95.96%**
SUELO DESNUDO	1.00	2.00	3.00	0.00	96.00	0.00	102.00	**94.12%**
BOSQUE AMAZÓNICO	8.00	0.00	0.00	4.00	0.000	90.00	102.00	**88.24%**
RESULTADOS	**130.00**	**100.00**	**130.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**660.00**	**93.18%**

Fuente: Elaboración propia.

La matriz de coincidencia del análisis digital en las imágenes satélites Landsat 8 en las seis clases de uso de suelos para la gestión 2013, tiene una confiabilidad general de 93.18%. Siendo la cobertura de cuerpos de agua con la mayor confiablidad del 99.22%, y la menor fue la clase de uso agropecuaria 88.06% como era de esperarse. Los cuerpos de agua son paisajes con clara diferencia de color, textura y geoforma respecto a los otros paisajes o clases de uso de suelos.

Tabla 19: Matriz de coincidencia de la gestión 2015

MATRIZ DE COINCIDENCIA 2015								
RASTER _VALU	USO AGROPECUARIO	ZONA URBANA	CUERPOS DE AGUA	BOSQUE YUNGUEÑO	SUELO DESNUDO	BOSQUE AMAZÓNICO	TOTAL	PRECISION
USO AGROPECUARIO	91	3	0	0	7	12	113	**80.53%**
ZONA URBANA	7	93	0	2	3	0	105	**88.57%**
CUERPOS DE AGUA	0	0	123	0	3	0	126	**97.62%**
BOSQUE YUNGUEÑO	0	0	0	96	0	3	99	**96.97%**
SUELO DESNUDO	1	3	7	0	85	0	96	**88.54%**
BOSQUE AMAZONICO	31	1	0	2	2	85	121	**70.25%**
RESULTADOS	**130**	**100**	**130**	**100**	**100**	**100**	**660**	**86.82%**

Fuente: Elaboración propia.

La matriz de coincidencia del análisis digital para determinar el uso de suelos para la gestión 2015, tiene una confiabilidad general de 86.82%. Siendo la cobertura de cuerpos de agua con la mayor confiablidad del 97.62%, y la menor fue la clase de Bosque Amazónico con 70.25%. Los cuerpos de agua son paisajes con clara diferencia de color, textura y geoforma respecto a los otros paisajes o clases de uso de suelos.

Tabla 20: Matriz de coincidencia de la gestión 2017

MATRIZ DE COINCIDENCIA GESTIÓN 2017								
RASTER _VALU	USO AGROPECUARIO	ZONA URBANA	CUERPOS DE AGUA	BOSQUE YUNGUEÑO	SUELO DESNUDO	BOSQUE AMAZÓNICO	TOTAL	PRECISION
USO AGROPECUARIO	118	9	0	1	0	6	134	88.06%
ZONA URBANA	3	89	0	0	3	0	95	93.68%
CUERPOS DE AGUA	0	0	127	0	1	0	128	99.22%
BOSQUE YUNGUEÑO	0	0	0	95	0	4	99	95.96%
SUELO DESNUDO	1	2	3	0	96	0	102	94.12%
BOSQUE AMAZONICO	8	0	0	4	0	90	102	88.24%
RESULTADOS	**130**	**100**	**130**	**100**	**100**	**100**	**660**	**93.18%**

Fuente: Elaboración propia.

La matriz de coincidencia del análisis digital para determinar el uso de suelos para la gestión 2017, tiene una confiabilidad general de 93.18%. Siendo la cobertura de cuerpos de agua con la mayor confiablidad del 92.22%, y la menor fue la clase de Uso Agropecuario con el 88.06%. Los cuerpos de agua son paisajes con clara diferencia de

color, textura y geoforma respecto a los otros paisajes o clases de uso de suelos como el uso agropecuario.

Tabla 21: Matriz de coincidencia de la gestión 2019

MATRIZ DE COINCIDENCIA GESTION 2019								
RÁSTER_VALU	BOSQUE YUNGUEÑO	CUERPOS DE AGUA	ZONA URBANA	USO AGROPECUARIO	SUELO DESNUDO	BOSQUE AMAZÓNICO	TOTAL	PRECISION
BOSQUE YUNGUEÑO	92	0	0	2	0	4	98	93.88%
CUERPOS DE AGUA	0	124	0	0	0	0	124	100.00%
ZONA URBANA	0	0	89	1	2	1	93	95.70%
USO AGROPECUARIO	0	1	5	106	2	15	129	82.17%
SUELO DESNUDO	0	5	6	3	96	0	110	87.27%
BOSQUE AMAZÓNICO	8	0	0	18	0	80	106	75.47%
RESULTADOS	**100**	**130**	**100**	**130**	**100**	**100**	**660**	**88.94%**

Fuente: Elaboración propia.

La matriz de coincidencia del análisis digital para determinar el uso de suelos para la gestión 2019, tiene una confiabilidad general de 88.94%. Siendo la cobertura de cuerpos de agua con la mayor confiablidad del 100.00%, y la menor fue la clase de Bosque Amazónico con el 75.47%. Los cuerpos de agua son paisajes con clara diferencia de color, textura y geoforma respecto a los otros paisajes o clases de uso de suelos como el Bosque Amazónico.

Tabla 22: Matriz de coincidencia de la gestión 2022

MATRIZ DE COINCIDENCIA GESTIÓN 2022								
RÁSTER -VALU	BOSQUE YUNGUEÑO	ZONA URBANA	CUERPOS DE AGUA	USO AGROPECUARIO	SUELO DESNUDO	BOSQUE AMAZÓNICO	TOTAL	PRECISION
BOSQUE YUNGUEÑO	93	0	0	0	0	1	94	98.94%
ZONA URBANA	0	90	2	0	5	0	97	92.78%
CUERPOS DE AGUA	0	0	125	0	0	0	125	100.00%
USO AGROPECUARIO	1	6	0	114	0	3	124	91.94%
SUELO DESNUDO	0	4	3	0	95	0	102	93.14%
BOSQUE AMAZONICO	6	0	0	16	0	96	118	81.36%
RESULTADOS	**100**	**100**	**130**	**130**	**100**	**100**	**660**	**92.88%**

Fuente: Elaboración propia.

La matriz de coincidencia del análisis digital para determinar el uso de suelos para la gestión 2022, tiene una confiabilidad general de 90.88%. Siendo la cobertura de cuerpos de agua con la mayor confiablidad del 100.00%, y la menor fue la clase de Bosque Amazónico con el 81.36%. Los cuerpos de agua son paisajes con clara diferencia de color, textura y geoforma respecto a los otros paisajes o clases de uso de suelos como el Bosque Amazónico.

3.1.3 Cálculo de tasa de cambio de uso de suelo para el periodo 2013 al 2022

Para cuantificar la tasa de cambio de uso de suelos se utilizaron datos espacio temporal de imágenes satelitales Landsat 8 y datos geográficos de campo para los análisis digitales supervisados, dando como resultados mapas temáticos, tablas y figuras ilustrativas. Con estos se realizaron tablas comparativas de las superficies entre los años 2013 y 2022. Asimismo, esto permitió analizar la dimensión espacial y temporal en un periodo de 9 años. Se ha calculado la matriz de tasa de cambio de uso de suelos aplicando la ecuación desarrollada por la FAO (1996) en la muestra la tasa de cambio por categoría. Dando como resultado una tasa de cambio de 4.98% en los 9 años; en la tabla 23 se detalla las tasas de cambio por categorías de uso de suelos.

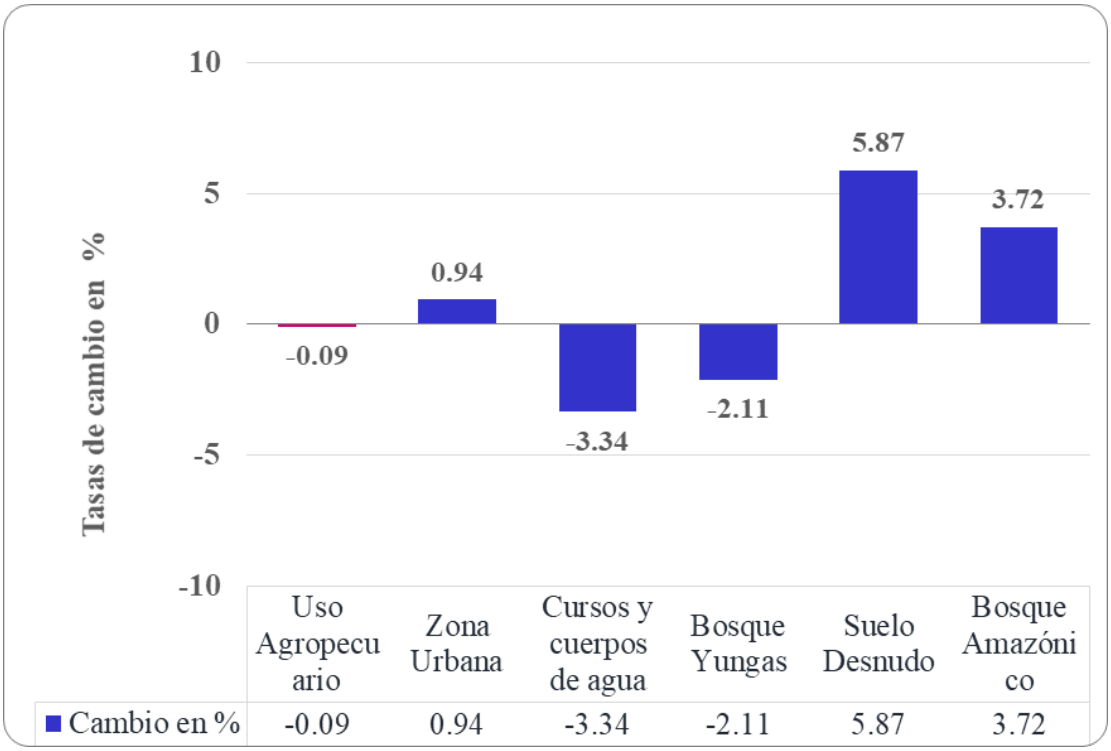
Tabla 23: Matriz de tasas de cambios de uso de suelos entre los años 2013 y 2022

Unidades de Uso	Cod	2013	2022	S1/S2	1/n	(S1/S2)^1/n	Tasa de cambio %
		Sup km2	Sup km2				
Uso Agropecuario	UA	235.80	233.87	0.99	0.11	1.00	-0.09
Zona Urbana	ZU	31.16	33.89	1.09	0.11	1.01	0.94
Cursos y cuerpos de agua	CA	38.65	28.46	0.74	0.11	0.97	-3.34
Bosque Yungas	BY	1 297.63	1 070.74	0.83	0.11	0.98	-2.11
Suelo Desnudo	SD	17.53	29.29	1.67	0.11	1.06	5.87
Bosque Amazónico	BA	576.25	800.77	1.39	0.11	1.04	3.72
SUPERFICIES TOTALES		**2 197.03**	**2 197.03**	**TASA DE CAMBIO TOTAL**			**4.98**

Fuente: Elaboración propia.

La tasa de cambio en 9 años (2013-2022) fue de 4.98% en todo el municipio de Entre Ríos. Por categorías de uso, el que sufrió mayor variación fue el suelo desnudo (SD) 5.87%, seguido por el bosque amazónico (BA) con el 3.72%, los cursos de agua (CA) se redujo a -3.34%, el bosque yungas (BY) redujo en un -2.11% , el uso agropecuario (UA) tuvo una variación de -0.09 y las zonas urbanas (ZU) a 0.94%, tal como se ilustra en la matriz de tasa de cambio en la tabla 23 y la figura 37.

Figura 37: Tasas de cambio de uso de suelos para el periodo 2013 -2022



Fuente: Elaboración propia.

3.2 Discusiones de resultados

Los cambios del uso de suelos son dinámicos en espacio y tiempo; lograr calcular la tasa de cambio es contar con un indicador de presión ambiental, que ha permitido conocer la magnitud y la velocidad con que se está presentando este proceso en las seis categorías de uso. Con los resultados del análisis multitemporal y el cálculo de tasas de cambio, se ha generado insumos que permitieron realizar discusiones con autores que hicieron estudios en contextos biofísicos y socio ecónomos similares. Sin embargo, no existen estudios idénticos en cuanto al municipio y las categorías de uso, es por ello que se toman estudios similares que estén geográficamente cercanos al municipio de Entre Ríos.

a. Cuantificación de cambios de uso de suelo entre los años 2013 y 2022

Los recursos de la tierra son lentamente renovables; sin embargo, su tasa de degradación excede su tasa natural de regeneración. En términos prácticos, esto significa que la cobertura vegetal que se pierde por degradación no es naturalmente reemplazada dentro del lapso de una vida humana, dando lugar así a una pérdida de oportunidades para las siguientes generaciones (FAO/UNEP, 2000). La cuantificación del cambio de uso de

suelo en el municipio de Entre Ríos ha permitido evidenciar la dinámica de cambio de ganancias y pérdidas de superficies (km^2) entre las categorías de uso en el periodo de nueve años (2013 - 2022). Según Ramos, et, al. (2004 pág. 55) los cambios esperados en las propiedades de un determinado paisaje pueden resumirse por una serie de probabilidades de las transiciones de un estado a otro sobre una determinada unidad de tiempo, por lo que los resultados obtenidos en los cambios del suelo reflejan ganancias y pérdidas en cada una de las categorías de uso definidas con anterioridad.

En este estudio, la variación en las categorías de uso de suelos está influenciada directamente por las actividades antrópicas. En estudios similares realizados por Lucana & Villalobos (2018) denominados "Mapa de la cobertura y uso de la tierra periodo 2015 de la provincia José Miguel De Velasco - Santa Cruz" se encontraron el aumento de áreas dedicadas a cultivos, la disminución de áreas con bosques y una intervención en áreas son por las actividades económicas de las personas.

Carrasco (2018) realizó un "Análisis multitemporal de la dinámica de cobertura de la tierra en el parque de protección ecológica del río Piraí del municipio de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra" en la que concluye que los cambios en el uso de suelo están directamente relacionadas a las actividades antropogénicas, la legislación nacional y en especial la aplicación de esta. Enmarcados en estos estudios, se puede confirmar en la mayoría de los estudios, que es normal el incremento de áreas agrícolas, debido al incremento de la población humana y del asentamiento de nuevos pueblos (comunidades).

Sin embargo, en esta tesis se evidencia el cambio de uso del suelo mostrando en diferentes paisajes como la variación en incremento del suelo desnudo (SD) en 5.87%. Esto es un indicativo de la degradación de suelos, seguido por el bosque amazónico (BA) con el 3.72%. Mientras que los cursos de agua (CA) se redujo a -3.34%, el bosque yungas (BY) se redujo en un -2.11%, el uso agropecuario (UA) tuvo una variación de -0.09 y las zonas urbanas (ZU) a 0.94%. Todo esto evaluado en los últimos 9 años (2013-2022). La dinámica de incremento y reducción de las categorías están acorde a las características biofísicas y los datos de crecimiento poblacional de 1.33% según el INE, 2012 con el incremento de las zonas urbanas en un 0.94% del municipio de Entre Ríos.

Las variaciones de categorías en nueve años fue 4.98% y se puede ver en la siguiente figura 38: a) imagen 2013 y b) imagen 2022, el incremento de suelo desnudo, la reducción

de cuerpos y curso de agua, el incremento del uso agropecuario, siendo estos los que sufrieron mayor variación.

Figura 38: Diferencias visuales de paisajes de imágenes satélites landsat en 2013 y el 2022

Fuente: Elaboración propia

b. Tasa de cambio de uso de suelo del periodo 2013 al 2022

Según Lopez et. al, (2015) los principales procesos de cambio son originados por la actividad humana. Convierten los suelos con bosque en pastizales, los pastizales en agricultura con riego o sin riego, de ahí que se obtiene una ganancia de la zona agrícola. En esta investigación, el comportamiento de cambio es similar con una tasa de 4.98 % dentro de un periodo de nueves años (2013 y 2022). Con el análisis de los índices de vegetación se concluyó que las imágenes a clasificar sean las que contuvieran suelos desnudos, las cuales fueron las imágenes capturadas en las fechas 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022.

c. Aporte de la investigación de análisis multitemporal

Dado que el aporte de una tesis de maestría está orientada a conocer mejor aspectos limitados, proponer enfoques y aproximaciones metodológicas, preparar trabajos de investigaciones futuras y llamar la atención sobre problemas, datos y fuentes antes no consideradas (Universidad Veracruzana, 2014). Tal como indica González et al, (2022), toda investigación deberá decir algo, por pequeño que sea, sobre el objeto que se investiga, "cosas que todavía no han sido dichas o bien revisar con óptica diferente las cosas que ya han sido dichas".

Esta tesis representa el conocimiento y la experiencia adquirida durante el trabajo de campo y gabinete, en las que se aplicó técnicas modernas de análisis digital (clasificación supervisada) y visual de imágenes satelitales Landsat en sistemas de información geográfica. Los aportes de esta investigación son la información geoespacial sobre la dinámica multitemporal del uso de suelos en los últimos 9 años (2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022) con resultados en mapas temáticos e información útil para la gestión ambiental del municipio de Entre Ríos.

Con la reflexión y discusión de los resultados de esta investigación de maestría se pretende lograr la unidad de criterios sobre la dinámica y la tasa de cambio del uso de suelos en el municipio de Entre Ríos con otras investigaciones que se realizaron (que estén disponibles) en contextos biofísicos similares que ya se mencionó anteriormente. Los datos, mapas y conclusiones que se emiten en este trabajo son útiles para los técnicos y las autoridades que gestionan el uso de suelos, ya que se presentan datos desde hace 9 años atrás y algunas actuales. Estos son puntos de partida que muestran el panorama espacial del uso suelos y son la base para financiar investigaciones con imágenes satelitales de mejor resolución espacial y temporal en periodos cortos (cada año).

En la actualidad, si bien es cierto que no podemos pretender una investigación revolucionaria en nuestro medio y el área de maestría de “Teledetección, Sistemas de Información Geográfica para el Desarrollo Sostenible”, dado el avance del conocimiento científico y tecnológico. No obstante, lo que sí se pretende es tratar de no repetir lo que ya está dicho sino avanzar un poco más allá de lo que ya existe. Esta tesis es una investigación de campo que aplica y contribuye con conocimiento sobre la dinámica espacio-temporal del cambio de uso del suelo en el municipio de Entre Ríos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se logró obtener resultados que dan respuesta a la pregunta de investigación enmarcados a los objetivos específicos planteados, y sobre la base de lo expuesto en todo el documento, se llegó a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Se ha logrado definir seis categorías de uso según criterios del Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra (LCCS), contextualizadas y adaptadas al área de estudio. Esto a través del análisis visual en las imágenes satelitales y apoyados con datos geográficos obtenidos en campo. Las categorías de uso de suelo definidas fueron Bosque Yungas, Bosque Amazónico, Uso Agropecuario, Suelo desnudo y Cursos - cuerpos de Agua. Estas fueron descritas a detalle e ilustradas con cortes de paisajes en imágenes satelitales en las que se destacan las diferencias entre los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022.
- Se analizó los cambios de uso de suelos en base a las categorías definidas según el sistema de clasificación de la cobertura de la tierra (LCCS) a través de la clasificación supervisada de imágenes satelitales para los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022 con una confiablidad del 93.41%. Esto muestra que las clases de uso de suelo han sido clasificadas correctamente.
- Se determinó la tasa de cambio del uso de suelos por categorías ocurridos a nivel espacial entre los años 2013 – 2022 a una tasa de cambio 4.98%. Se encontró cambios significativos, especialmente en el incremento del Suelo Desnudo (SD) 5.87%, seguido por el bosque amazónico (BA) con el 3.72%, los cursos de agua (CA) redujeron a -3.34%, el bosque yungas (BY) redujo en un -2.11%, el uso agropecuario (UA) tuvo una variación de pérdida de -0.09 y las zonas urbanas (ZU) a 0.94%. En este sentido se ha aprobado la hipótesis alternativa, ya que la tasa de cambio del uso de suelo fue significativa al 4.98% entre el 2013 y 2022 e influyen directamente en la degradación ambiental del municipio de Entre Ríos.

Recomendaciones

- Se recomienda al Gobierno autónomo municipal de Entre Ríos usar las categorías de uso definidas en campo y en base al Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra (LCCS) bajo el contexto biofísico de área de estudio. El monitoreo del uso de suelos, con estas categorías puede aportar a controlar el avance de actividades humanas (uso agrícola de coca, explotación de maderas y otras extracciones) en el área protegida Carrasco, ya que se ha evidenciado en el mapa de uso de suelos de 2022 la presencia de áreas agrícolas que en el año 2013 no existían.
- Se recomienda usar los resultados de análisis de cambios de uso de suelos como insumo para el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del municipio de Entre Ríos, ya que se obtuvo una confiablidad de clasificación de uso de suelos de 93.41%. Esto es posible con la concientización y participación activa de autoridades y técnicos para definir líneas estratégicas que reduzcan la erosión y degradación de los suelos por factores antrópicos.
- Se recomienda al gobierno municipal de Entre Ríos ponderar la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica para realizar estudios de análisis multitemporal de uso de los suelos. Estos deben estar enfocados a la pecuaria y forestal en periodos cortos con imágenes satelitales comerciales de alta resolución espacial. En esta investigación la tasa de cambio fue de 4.98% y se ha identificado los cambios positivos y negativos en tiempo - espacio para implementar políticas municipales de conservación y manejo de suelos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bekker, J. (2001). *Principios de la teledetección.* Paises Bajos.

Bernal, H., & Montes, P. (2016). *Análisis multitemporal de la dinámica en el cambio de uso de la tierra en Manizales durante el período 1969 – 2015 estudio de caso: comuna Ciudadela del Norte, Manizales.*

Brizuela, A., Aguirre, C., & Velasco, I. (2007). Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Landsat 5 para análisis multitemporal. Memorias. Teledetección. Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional. 208.

Chuvieco, E. (2008). *Teledetección Ambiental. La observación de la tierra desde el espacio* (3 ed. ed.). Barcelona, España: Planeta, Ed.

Del Bosque, I., Fernandez, c., Martin-Forero, L., & Perez, E. (2012). *Los Sistemas de Información Geográfica y la Investigación en Ciencias Humanas y Sociales.* Madrid.

Di Gregorio, A. (2005). *Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra Conceptos de Clasificación y manual para el usuario. Versión 2 del Programa. Traducción y adaptación al español. Ronald Vargas.* Cochabamba, Bolivia: FAO.

FAO. (2011). *Documento de trabajo de la evaluación de los recursos forestales mundiales 2010, Términos y Definiciones.* Roma.

FAO. (2016). State of the World's Forests.

Farnum, F., Murillo, G., & Vielka, R. (2019). Análisis multitemporal (1970-2017) del uso del suelo en cinco comunidades ubicadas a lo largo de la carretera boyd roosevelt, panamá. 72.

GAM Entre Ríos. (2016). *PLAN TERRITORIAL DE DESARROLLO INTEGRAL GOBIERNO AUTONOMO MUNICIPAL DE ENTRE RÍOS 2016-2020.* Cochabamba, Bolivia, Entre Ríos (Bulo Bulo).

GAM Entre Ríos PDM 2014. (2014). *Plan de Desarrollo municipal 2014, Gobierno Autonómo Municipal de Entre Riós.* Cochabamba.

Gozanles, E. (2012). *Aplicaciones de la teledetección en degradación de suelo.* Madrid, España.

Guerrero,, D., & Moreno, R. (2015). Estudio multitemporal del uso del suelo y la cobertura forestal en el municipio de Puerto Rico, Colombia (Meta) y su. (U. D. Caldas, Ed.) *Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ingeniería Forestal,*.

InfoResources. (20 de Septiembre de 2007). *Tecnologías de Información Geográfica para el Manejo de los Recursos Naturales*. Obtenido de www.inforesources.ch

Killeen, T., Garcia, E., & Beck, S. (2014). Guía de árboles de Árboles. *Editorial del Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés*, 958.

Lopez , V., Balderas, M., Chavez, M., & Guitierrez, J. (2015). *Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano.* CIENCIA ergo-sum.

Martinez, J., & Pilar, M. (2010). *Guía Didáctica de Teledetección y Medio Ambiente.* Madrid, Esapaña: Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CSIC). Obtenido de www.visibleearth.nasa.gov

Medina, B. (2015). Análisis multitemporal del cambio de la cobertura vegetal y uso de la tierra en el cantón Gualaquiza, 1987 – 2015. 103. Obtenido de http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7166/1/T-UCE-0004-33.pdf

Miranda, L. (2013). Monitoreo de la deforestacion mediante tecnicas geomaticas. 15. Obtenido de http://eprints.uanl.mx/3577/1/1080240823.pdf

MINAM, 2014. Ministerio del Ambiente del Perú, Protocolo de Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación. Dirección General de Ordenamiento Territorial, Perú, 2014. 32 pág.

Ramos, R., David, P., & Ortiz, C. (2004). *Cambios de uso de suelo mediante técnicas de sistemas de información geográfica en una región cacaotera.* Terra Latinoamericana.

Rivera A., M. (2008). Glosario de Temas y Conceptos Ambientales - Una Guía Para la Actualización y la Reflexión. La Paz, Bolivia: LIDEMA.

Soluciones Integrales en Geomatica. (12 de Julio de 2022). *geosoluciones*. Obtenido de <http://www.geosoluciones.cl/landsat/>

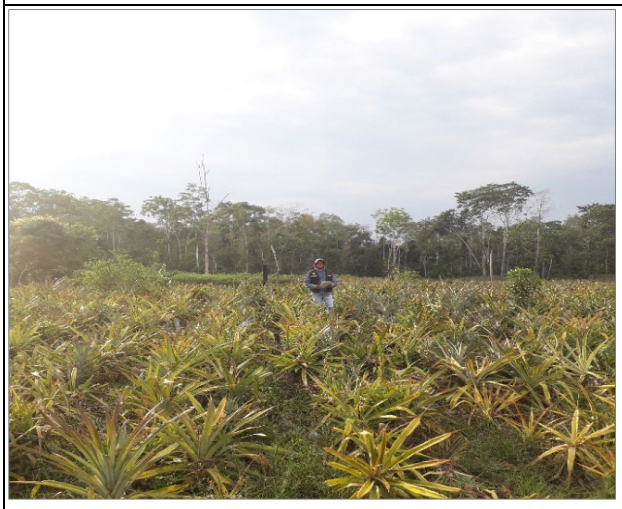
Velasquez, A., Duran, E., Larrazábal, A., López, F., & Medina, c. (2010). La cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo. 86. Obtenido de http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/601/ cobertura.pdf

Vila, J., & Varga, D. (2008). *Los sistemas de información geográfica Capítulo 15. Evaluación y prevención de riesgos Ambientales en Centroamérica.* (I. 978-84-96742-37-6, Ed.) Girona, España.

ANEXOS

ANEXO 1: MEMORIA FOTOGRÁFICA DE LAS PRINCIPALES ACTIVIDADES DE CAMPO EN PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA TESIS

Fotografía 1. Gestiones ante el GAM de Entre Ríos para la realización de Tesis



Fotografía 2. Toma de datos geográficos y descriptivos en cultivos de piña

Fotografía 3. Toma de datos geográficos y descriptivos de coberturas agropecuario.

Fotografía 4. Toma de datos geográficos y descriptivos de coberturas de pastizales

Fotografía 5. Toma de datos geográficos y descriptivos de cultivos de coca

Fotografía 6. Toma de datos geográficos y descriptivos de coberturas de agua

ANEXO 2: PLANILLAS DE CAMPO APLICADO POR CATEGORÍAS DE USO DE SUELOS EN EL MUNICIPIO ENTRE RÍOS

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022 DEL MUNICIPIO DE ENTRE RÍOS

PLANILLA DE CAMPO PUNTOS DE CONTROL

Municipio: Entre Ríos..... **Comunidad:** ENTRE RIOS ..... **Fecha** 27/08/2022

Nombre del evaluador: CRISTIAN R DE LOS RIOS **Número de hoja de Evaluación:** 3

Coordenadas UTM

X	324729.515
Y	8102886.617
Altura (Z)	217.438

Cód. del punto de muestra	1155
Cód. Fotografía	0129

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE MUESTRA

Bosque Natural	Bosque Secundario	Matorral	Herbazal	Cultivos	Cuerpos de agua	Área protegida	Otros
			X				

a. Descripción de la cobertura y uso de suelo:

HERBAZAL DE FORMA NATURAL EN ESTADO DE CONSERVACION BUENA

b. Observaciones importantes:

SE ENCUENTRA A UNA DISTANCIA APROXIMADA DE 1SOM DE LA CARRETERA TRONCAL COCHABAMBA SANTA CRUZ - EN UN CAMINO TERCIARIO

c. Dibuje la estructura Vertical de la cobertura vegetal:

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022 DEL MUNICIPIO DE ENTRE RÍOS

PLANILLA DE CAMPO PUNTOS DE CONTROL

Municipio: Entre Ríos..... **Comunidad:** PLAYA ALTA **Fecha** 10 / 10 / 2022

Nombre del evaluador: ..... **Número de hoja de Evaluación:** 35

Coordenadas UTM

X	339436.716
Y	8106075.233
Altura (Z)	211.09

Cód. del punto de muestra	1160
Cód. Fotografía	0208

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE MUESTRA

Bosque Natural	Bosque Secundario	Matorral	Herbazal	Cultivos	Cuerpos de agua	Área protegida	Otros
	X						

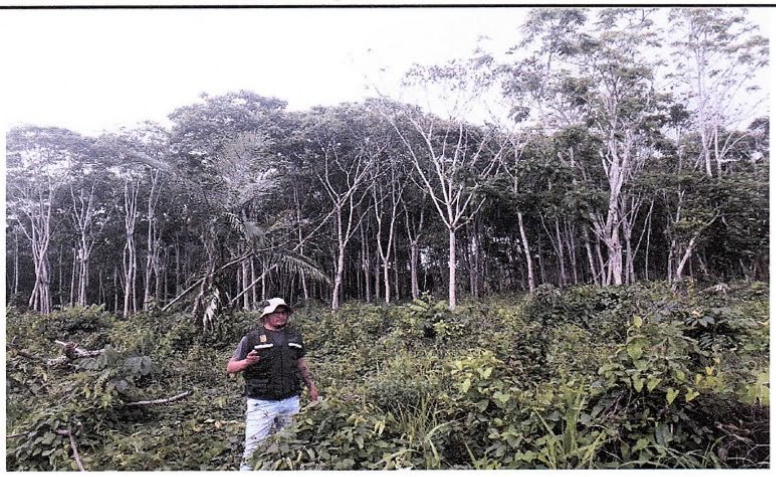
a. Descripción de la cobertura y uso de suelo:

BOSQUE SECUNDARIO SE PUEDE OBSERVAR QUE EXISTE UNA VEGETACION LEÑOSA

b. Observaciones importantes:

CAMINO COMUNAL EN BUEN ESTADO EMPEDRADO INGRESO COMUNIDAD PLAYA ALTA

c. Dibuje la estructura Vertical de la cobertura vegetal:



ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022 DEL MUNICIPIO DE ENTRE RÍOS

PLANILLA DE CAMPO PUNTOS DE CONTROL

Municipio: Entre Ríos..... **Comunidad:** IZARZAMA ..... **Fecha** 26 / 8 / 2022

Nombre del evaluador: ..... **Número de hoja de Evaluación:** 10

Coordenadas UTM

X	322054.985
Y	8105558.052
Altura (Z)	202.317

Cód. del punto de muestra	1127
Cód. Fotografía	0536

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE MUESTRA

Bosque Natural	Bosque Secundario	Matorral	Herbazal	Cultivos	Cuerpos de agua	Área protegida	Otros
				X			

a. Descripción de la cobertura y uso de suelo:

CULTIVO DE PIÑA ESTADO DE CONSERVACION BUENA

b. Observaciones importantes:

EXISTE CAMINO VECINAL TERCIARIO (EMPEORADO) APROXIMADAMENTE A 1+612 KM DEL AREA POBLADA

c. Dibuje la estructura Vertical de la cobertura vegetal:

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022 DEL MUNICIPIO DE ENTRE RÍOS

PLANILLA DE CAMPO PUNTOS DE CONTROL

Municipio: Entre Ríos..... **Comunidad:** PLAYA ALTA ..... **Fecha** 28 / 8 / 2022

Nombre del evaluador: CRISTIAN D.E. RIOS **Número de hoja de Evaluación:** 19

Coordenadas UTM

X	341022.53
Y	8105918.72
Altura (Z)	214.62

Cód. del punto de muestra	1163
Cód. Fotografía	0942

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE MUESTRA

Bosque Natural	Bosque Secundario	Matorral	Herbazal	Cultivos	Cuerpos de agua	Área protegida	Otros
X							

a. Descripción de la cobertura y uso de suelo:

BOSQUE NATURAL TOMA DE ARBOLES HASTA 35 M CON ESTADO DE CONSERVACION BUENA

b. Observaciones importantes:

EXISTE APERTURA DE CAMINO TERCIARIO EN BUEN ESTADO PARA INGRESO A LA COMUNIDAD PLAYA ALTA

c. Dibuje la estructura Vertical de la cobertura vegetal:

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022 DEL MUNICIPIO DE ENTRE RÍOS

PLANILLA DE CAMPO PUNTOS DE CONTROL

Municipio: Entre Ríos..... **Comunidad:** IZARZAMA **Fecha** 28/08/2022

Nombre del evaluador: CRISTIAN DE LOS RIOS **Número de hoja de Evaluación:** 8

Coordenadas UTM

X	320327.58
Y	8104271.12
Altura (Z)	207.52

Cód. del punto de muestra	1141
Cód. Fotografía	0432

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE MUESTRA

Bosque Natural	Bosque Secundario	Matorral	Herbazal	Cultivos	Cuerpos de agua	Área protegida	Otros
					X		

a. Descripción de la cobertura y uso de suelo:

CUERPO DE AGUA LAGUNA CON ACTIVIDAD PISCICOLA

b. Observaciones importantes:

SE ENCUENTRA EN EL AREA POBLADA IZARZAMA DENTRO DE UNA PROPIEDAD PRIVADA

c. Dibuje la estructura Vertical de la cobertura vegetal:

ANEXO 3: CARTAS DE COORDINACIÓN Y SOLICITUD DE INFORMACIÓN OFICIAL AL GAM DE ENTRE RÍOS

Entre Rios, 10 de octubre de 2022

RECIBIDO
10 OCT 2022
8435

Señor
Elmer Rojas Mercado
ALCALDE DEL GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE ENTRE RÍOS
Presente.

REF.- SOLICITUD PTDI – PLUS - PDM

De mis consideraciones:

Por la presente me dirijo a su persona deseándole éxitos en las labores cotidianas que desempeña.

Me dirijo a su autoridad que por favor se me pueda facilitar los **PDM – PLUS – PTDI** del municipio de Entre Rio ya que mi persona se encuentra realizando una **Maestría En Sistemas De Información Geográfica Y Teledetección Para El Desarrollo Sostenible** en la **Universidad Andina Simón Bolívar** por lo cual me es necesario obtener dicha información para la corroboración de información fidedigna.

También haciéndole conocer que mi persona habiendo culminado el plan académico en el año 2020 y teniendo un plazo para la defensa de mi tesis hasta el 31 de diciembre del 2022 por tal motivo vengo realizando el trabajo de campo desde las fechas 26-27-28 de Agosto y el 07 - 08 – 09 -10 de Octubre del año en curso, obteniendo puntos de monitoreo en campo en todo el municipio de Entre Rios.

Nombre

Cristian Rodrigo De Los Rios Espada

Profesión

Licenciado En Geodesia Y Topografia

RESIDENCIA	CI	RN
Ciudad de Sucre	5681502 CH	01-3138

TEMA DE LA TESIS

"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022 MUNICIPIO DE ENTRE RÍOS, COCHABAMBA"

Adjunto el certificado de egreso de la Maestría y Aprobación del nombre de la tesis generada por la Universidad y modelo de planilla de campo como respaldo.

La Información generada se proporcionara al municipio como respaldo técnico para poder determinar las características del uso de suelo de Entre Rios en los años 2013 - 2022

Sin otro particular y esperando de una respuesta favorable me despido con las consideraciones más distinguidas.

Atte.-

Lic. Cristian Rodrigo De Los Rios Espada
R.N. 01-3138

COL. DE TOPOGRAFOS DE BOLIVIA
Lic. Cristian R. De Los Rios E.
GEODESTA & TOPOGRAFO
R.N. 01-3138

Entre Ríos, 10 de octubre de 2022
CITE:UP/002/2022

VIA: Sr. Elmer Rojas Mercado
ALCALDE MUNIPAL DE ENTRE RIOS

MVZ. Edgar Rojas Bustamante
SECRETARIO GENERAL MUNICIPIO DE ENTRE RIOS

DE: Ing. Claudio López Rojas
RESP. UNIDAD DE PLANIFICACION GAMER

A: Lic. Cristian Rodrigo De Los Ríos
SOLICITANTE

Ref.: REMITO DOCUMENTACION EN RESPUESTA A LA SOLICITUD:

De mi mayor consideración:

Por intermedio del presente remito la documentación en respuesta a la solicitud **PTDI-PLUS-PDM,** el Gobierno Municipal de Entre Ríos a la fecha no cuenta con PTI 2021-2025 aprobado, por tal razón se facilita al interesado PDM 2012-2016 en medio magnético.

Es cuanto puedo informar para fines consiguientes

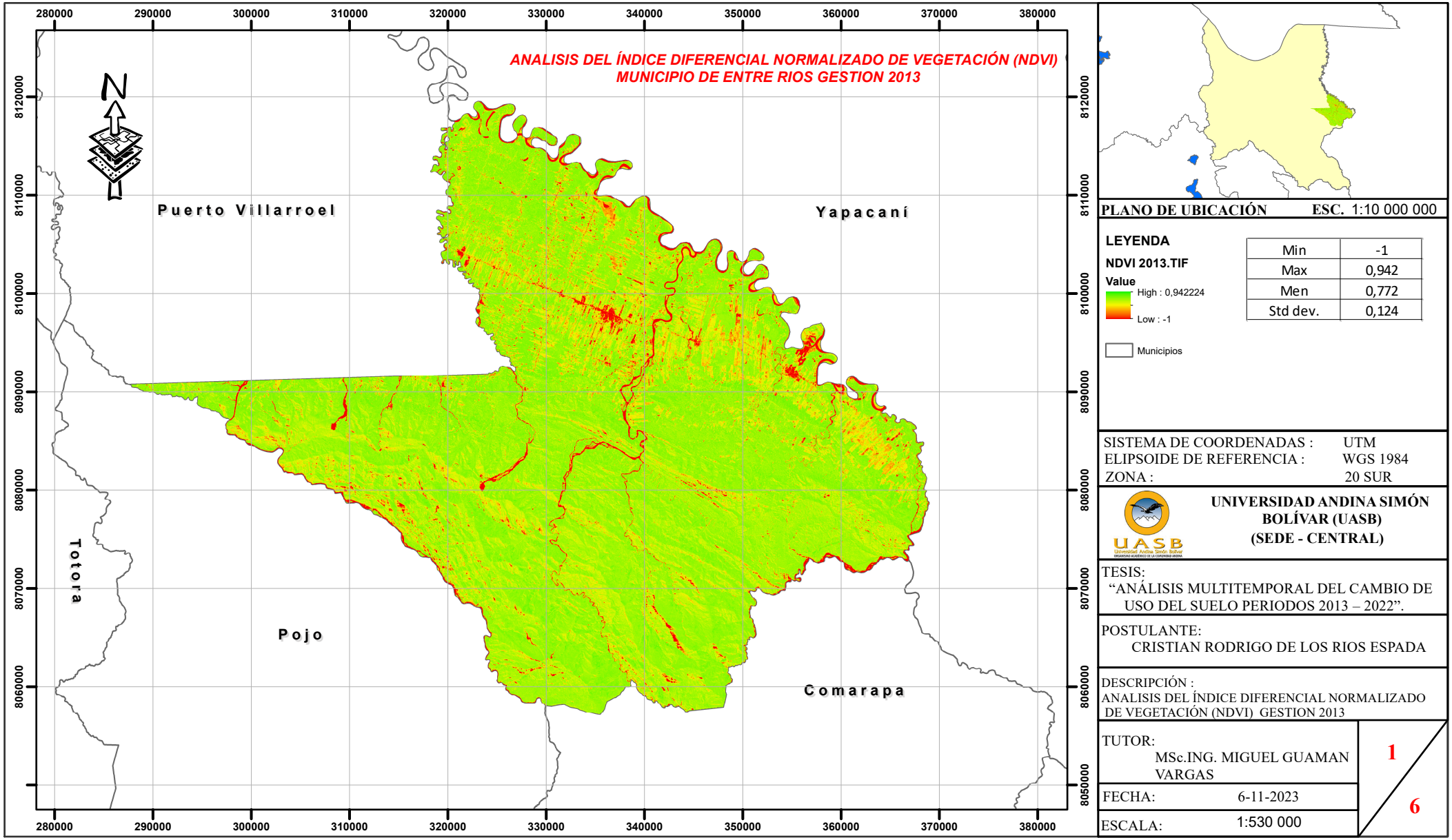
Att.

MVZ. Edgar Rojas Bustamante
SECRETARIO GENERAL MUNICIPAL
Gob. Autónomo Mcpal. de Entre Ríos

Ing. Claudio López Rojas
RESP. UNIDAD DE PLANIFICACION

Ing. Claudio López Rojas
RESP. DE UNIDAD DE PLANIFICACIÓN
G.A.M. ENTRE RIOS

ANEXO 4: MAPAS DE ÍNDICE DE VEGETACIÓN GESTIÓN 2013 - 2022



PLANO DE UBICACIÓN ESC. 1:10 000 000

LEYENDA

NDVI 2013.TIF

Value

High : 0,942224

Low : -1

Municipios

Min	-1
Max	0,942
Men	0,772
Std dev.	0,124

SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)

TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".

POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA

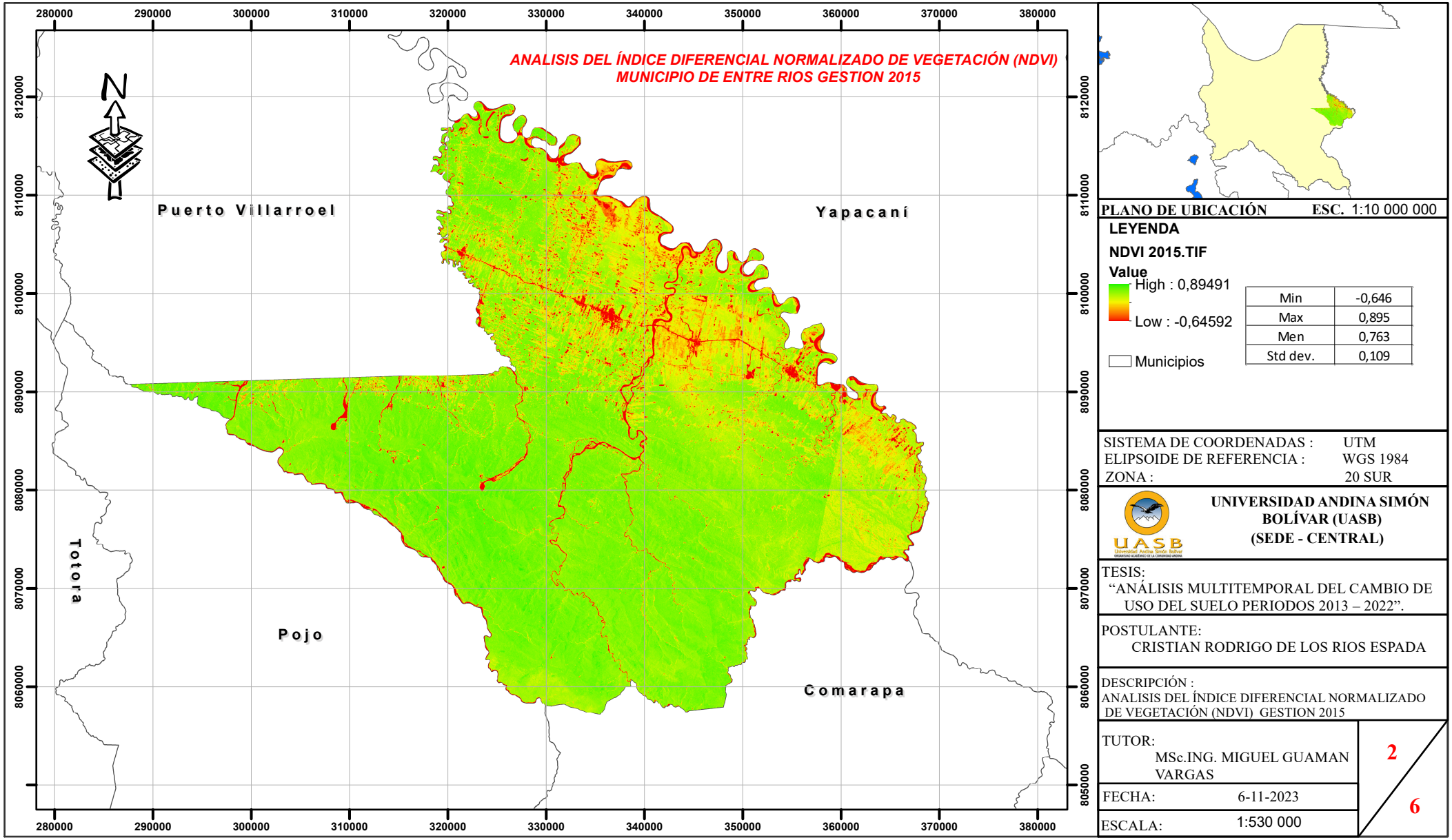
DESCRIPCIÓN :
ANALISIS DEL ÍNDICE DIFERENCIAL NORMALIZADO DE VEGETACIÓN (NDVI) GESTION 2013

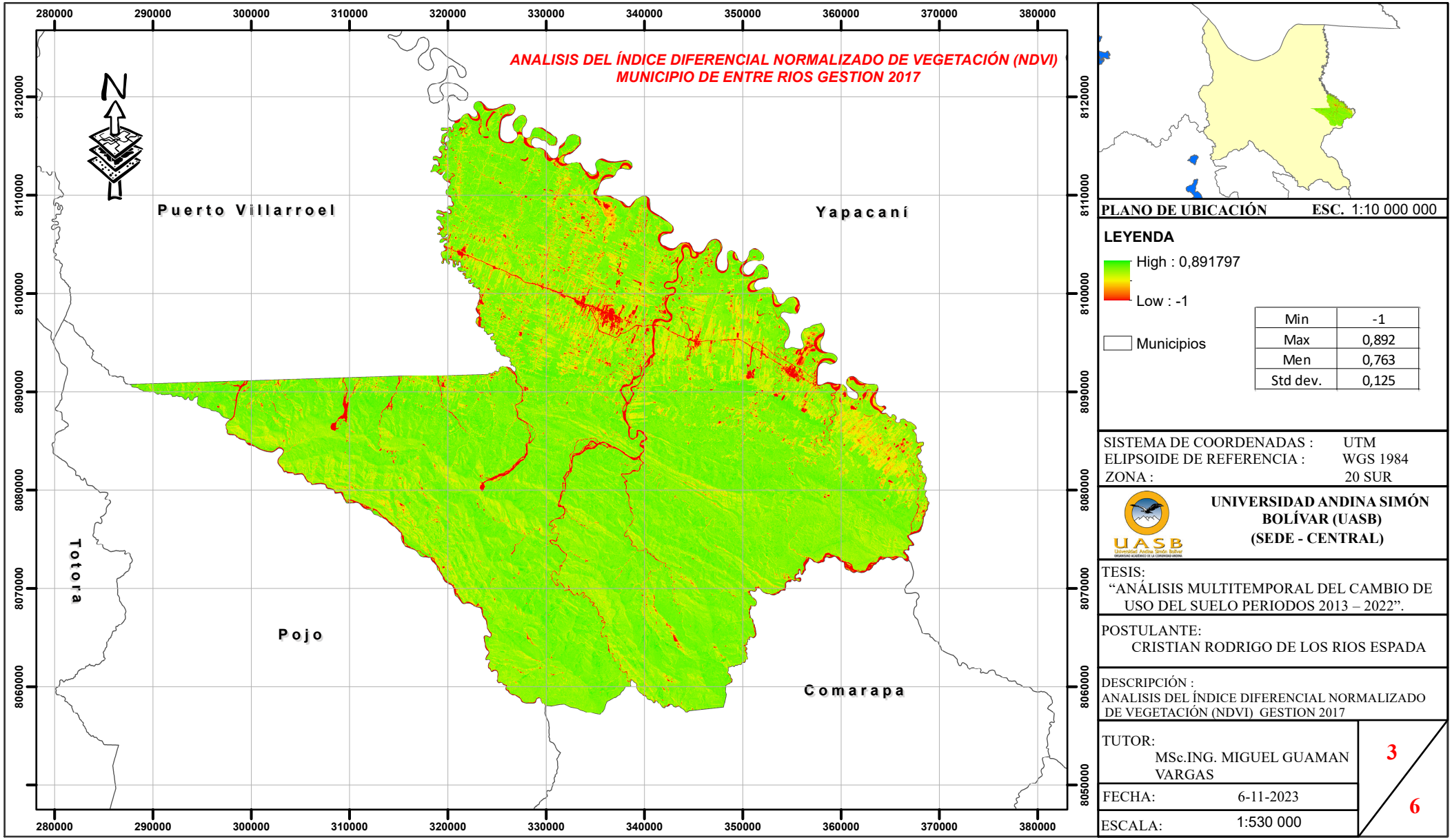
TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS

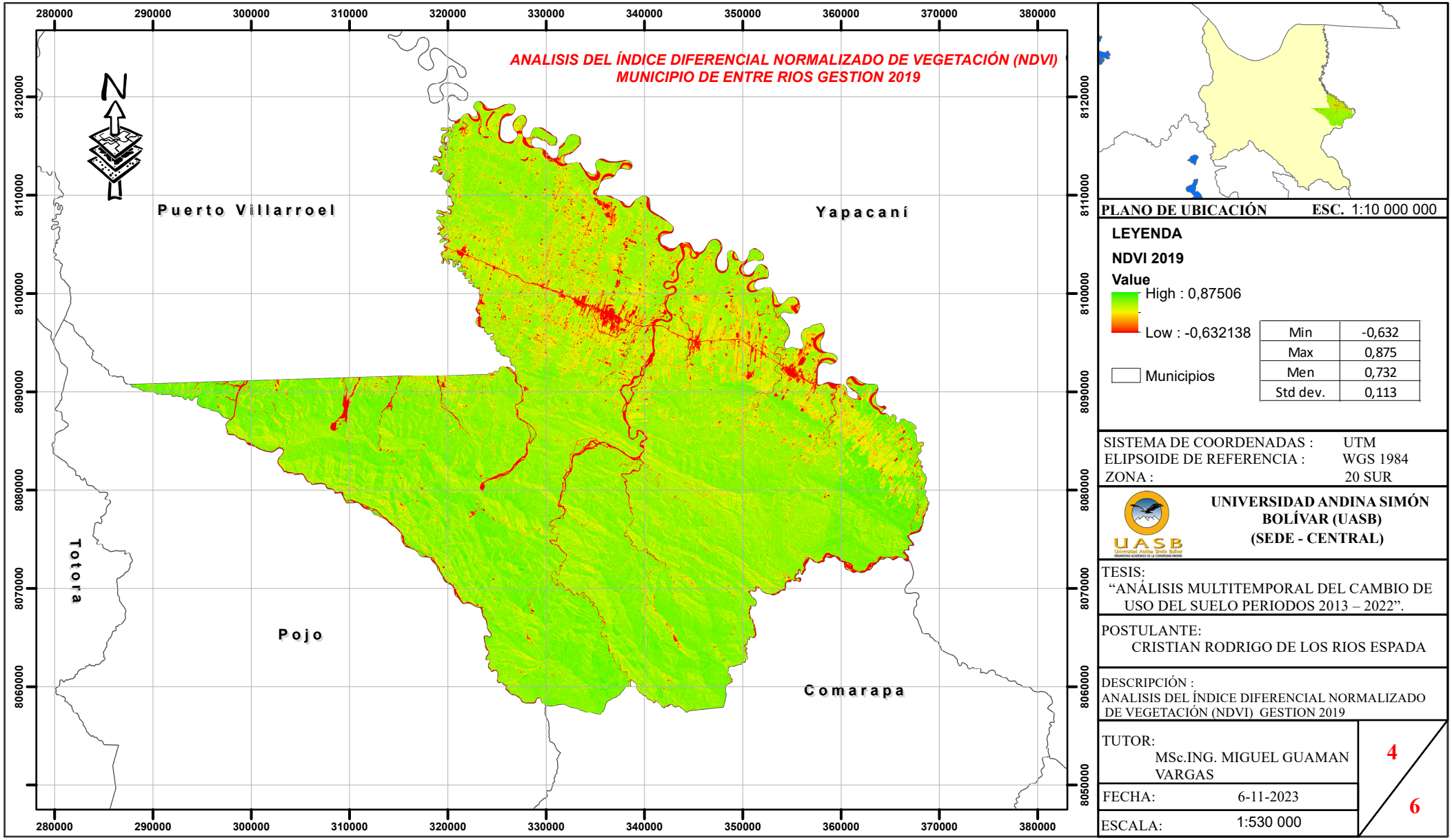
FECHA: 6-11-2023

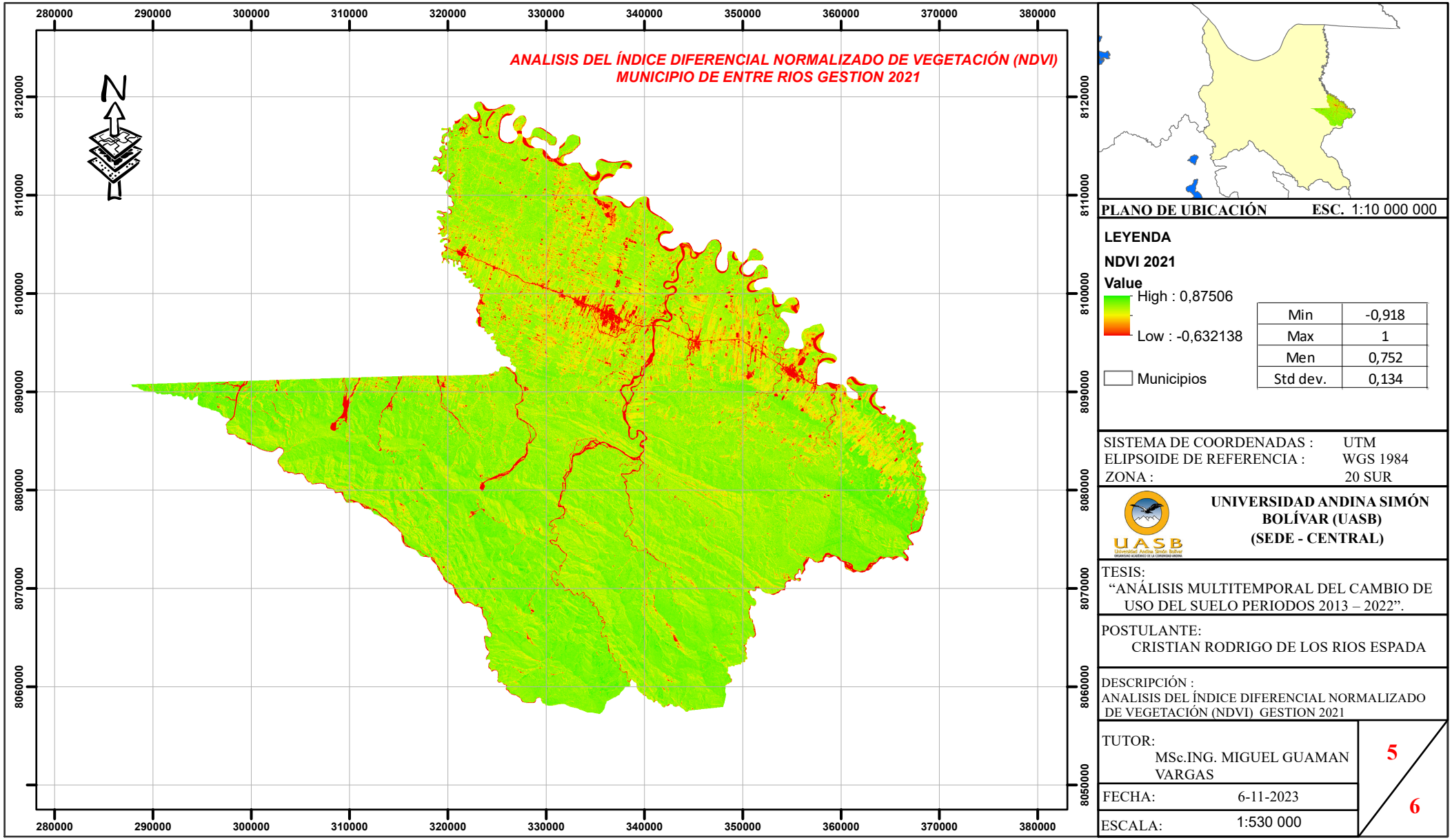
ESCALA: 1:530 000

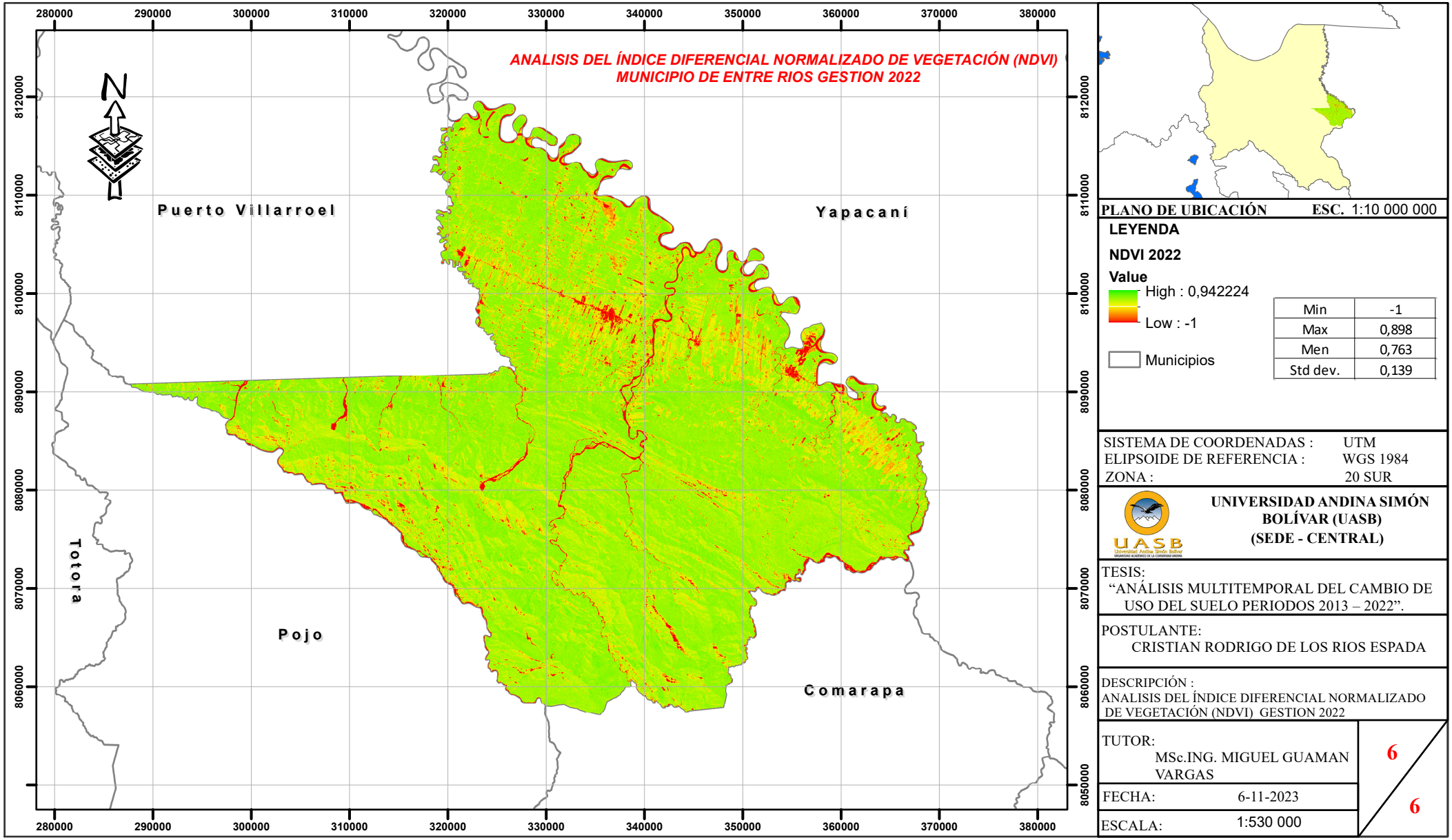
1
6


ANALISIS DEL ÍNDICE DIFERENCIAL NORMALIZADO DE VEGETACIÓN (NDVI)
MUNICIPIO DE ENTRE RIOS GESTION 2015
N
Puerto Villarroel
Yapacaní
Totora
Pojo
Comarapa
280000
290000
300000
310000
320000
330000
340000
350000
360000
370000
380000
8120000
8110000
8100000
8090000
8080000
8070000
8060000
8050000
PLANO DE UBICACIÓN
ESC. 1:10 000 000
LEYENDA
NDVI 2015.TIF
Value
High : 0,89491
Low : -0,64592
Municipios
Min -0,646
Max 0,895
Men 0,763
Std dev. 0,109
SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR
UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)
TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".
POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA
DESCRIPCIÓN :
ANALISIS DEL ÍNDICE DIFERENCIAL NORMALIZADO DE VEGETACIÓN (NDVI) GESTION 2015
TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS
FECHA: 6-11-2023
ESCALA: 1:530 000
2
6


ANALISIS DEL ÍNDICE DIFERENCIAL NORMALIZADO DE VEGETACIÓN (NDVI)
MUNICIPIO DE ENTRE RIOS GESTION 2017
N
Puerto Villarroel
Yapacaní
Totora
Pojo
Comarapa
280000
290000
300000
310000
320000
330000
340000
350000
360000
370000
380000
8120000
8110000
8100000
8090000
8080000
8070000
8060000
8050000
PLANO DE UBICACIÓN
ESC. 1:10 000 000
LEYENDA
High : 0,891797
Low : -1
Municipios
Min -1
Max 0,892
Men 0,763
Std dev. 0,125
SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR
UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)
TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".
POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA
DESCRIPCIÓN :
ANALISIS DEL ÍNDICE DIFERENCIAL NORMALIZADO DE VEGETACIÓN (NDVI) GESTION 2017
TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS
FECHA: 6-11-2023
ESCALA: 1:530 000
3
6


ANALISIS DEL ÍNDICE DIFERENCIAL NORMALIZADO DE VEGETACIÓN (NDVI)
MUNICIPIO DE ENTRE RIOS GESTION 2019
N
Puerto Villarroel
Yapacaní
Totora
Pojo
Comarapa
280000
290000
300000
310000
320000
330000
340000
350000
360000
370000
380000
8120000
8110000
8100000
8090000
8080000
8070000
8060000
8050000
PLANO DE UBICACIÓN
ESC. 1:10 000 000
LEYENDA
NDVI 2019
Value
High : 0,87506
Low : -0,632138
Municipios
Min -0,632
Max 0,875
Men 0,732
Std dev. 0,113
SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR
UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)
TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".
POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA
DESCRIPCIÓN :
ANALISIS DEL ÍNDICE DIFERENCIAL NORMALIZADO DE VEGETACIÓN (NDVI) GESTION 2019
TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS
FECHA: 6-11-2023
ESCALA: 1:530 000
4
6


ANALISIS DEL ÍNDICE DIFERENCIAL NORMALIZADO DE VEGETACIÓN (NDVI)
MUNICIPIO DE ENTRE RIOS GESTION 2021
N
280000
290000
300000
310000
320000
330000
340000
350000
360000
370000
380000
8120000
8110000
8100000
8090000
8080000
8070000
8060000
8050000
PLANO DE UBICACIÓN
ESC. 1:10 000 000
LEYENDA
NDVI 2021
Value
High : 0,87506
Low : -0,632138
Municipios
Min -0,918
Max 1
Men 0,752
Std dev. 0,134
SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR
UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)
TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".
POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA
DESCRIPCIÓN :
ANALISIS DEL ÍNDICE DIFERENCIAL NORMALIZADO DE VEGETACIÓN (NDVI) GESTION 2021
TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS
FECHA: 6-11-2023
ESCALA: 1:530 000
5
6



PLANO DE UBICACIÓN ESC. 1:10 000 000

LEYENDA

NDVI 2022

Value

High : 0,942224

Low : -1

Municipios

Min	-1
Max	0,898
Men	0,763
Std dev.	0,139

SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)

TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".

POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA

DESCRIPCIÓN :
ANALISIS DEL ÍNDICE DIFERENCIAL NORMALIZADO DE VEGETACIÓN (NDVI) GESTION 2022

TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS

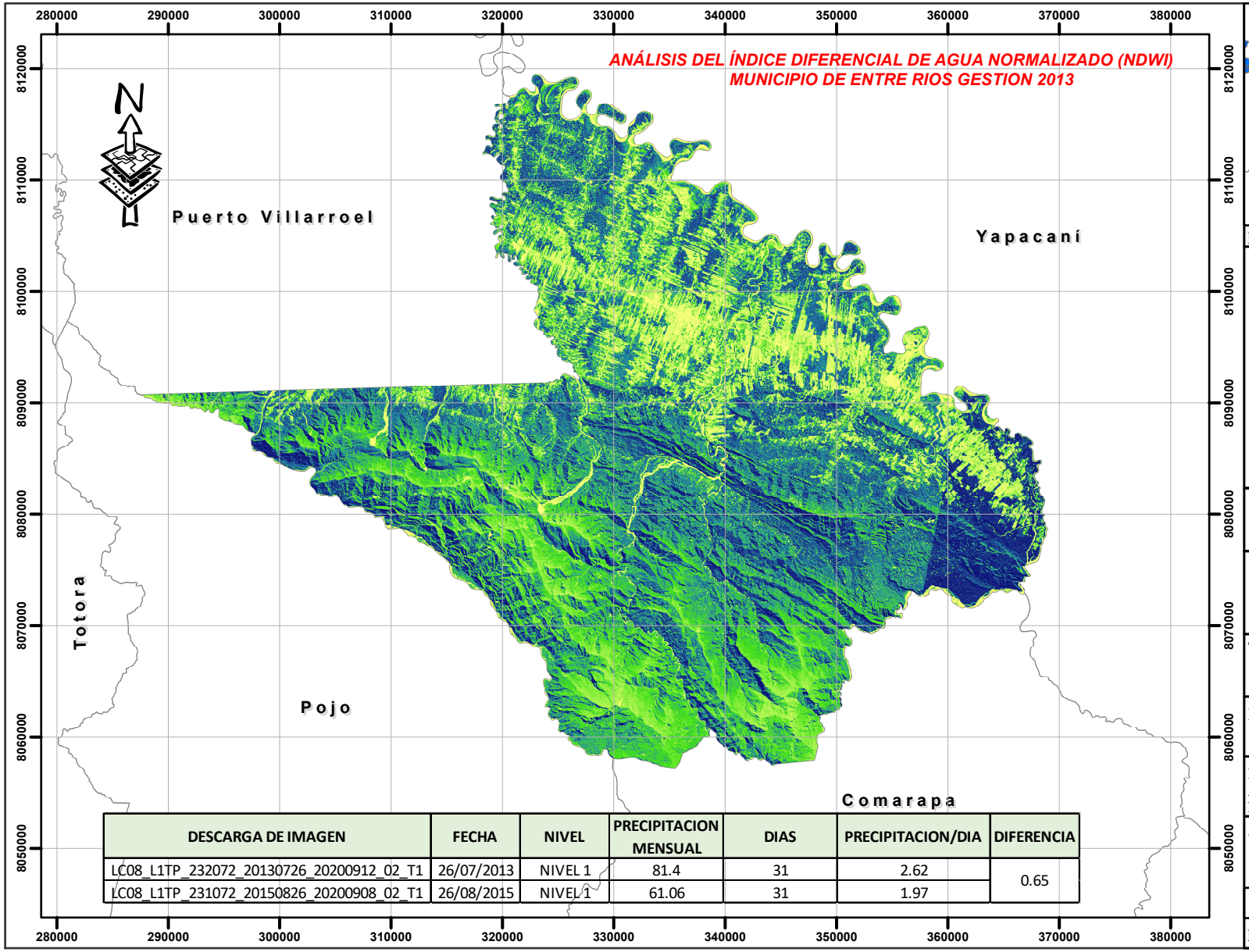
FECHA: 6-11-2023

ESCALA: 1:530 000

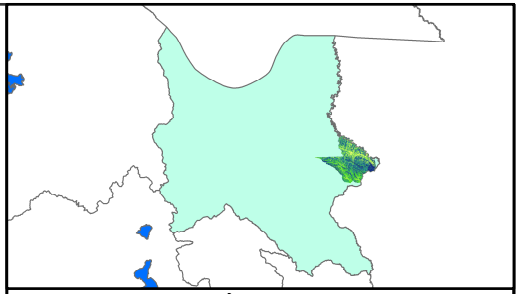
6
6

ANEXO 5: MAPAS DE ANÁLISIS DEL ÍNDICE DIFERENCIAL DE AGUA NORMALIZADO (NDWI) GESTIÓN 2013 - 2022

ANÁLISIS DEL ÍNDICE DIFERENCIAL DE AGUA NORMALIZADO (NDWI) MUNICIPIO DE ENTRE RIOS GESTION 2013



DESCARGA DE IMAGEN	FECHA	NIVEL	PRECIPITACION MENSUAL	DIAS	PRECIPITACION/DIA	DIFERENCIA
LC08_L1TP_232072_20130726_20200912_02_T1	26/07/2013	NIVEL 1	81.4	31	2.62	0.65
LC08_L1TP_231072_20150826_20200908_02_T1	26/08/2015	NIVEL 1	61.06	31	1.97	



PLANO DE UBICACIÓN ESC. 1:10 000 000

LEYENDA

NDWI 2013.TIF

Value

High : 0,668099

Low : -0,564197

Municipios

INDICE DIFERENCIAL DE AGUA NORMALIZADO (NDWI)

DIA	MES	AÑO
26	7	2013
26	8	2015

NDWI	DIFERENCIA
-0.72	-0.01
-0.71	

SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)

TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".

POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA

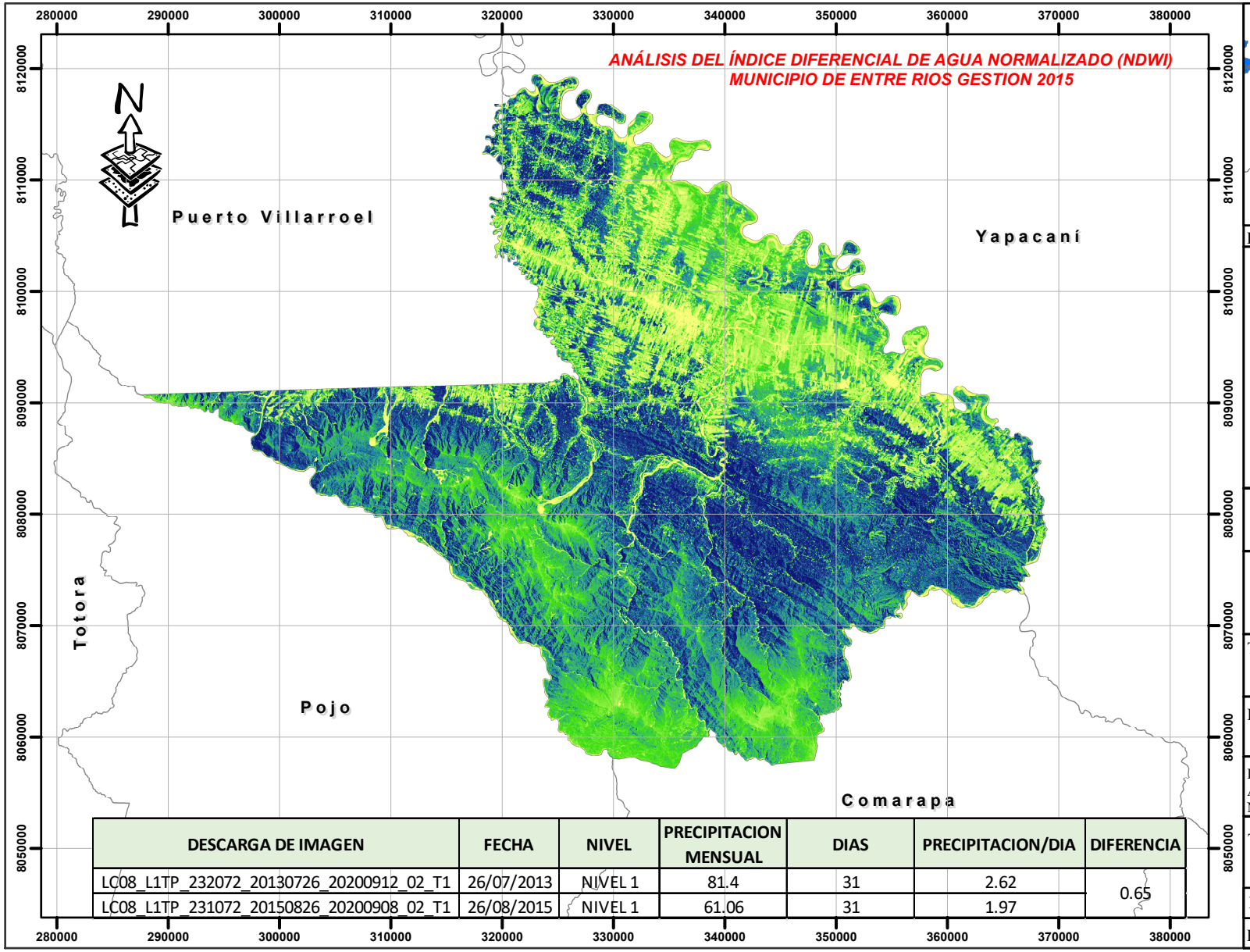
DESCRIPCIÓN :
ANÁLISIS DEL ÍNDICE DIFERENCIAL DE AGUA NORMALIZADO (NDWI) GESTION 2013

TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS

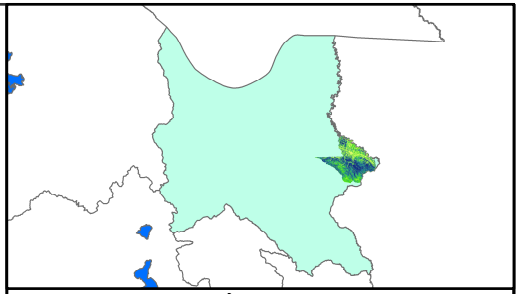
FECHA: 6-11-2023

ESCALA: 1:530 000

1 / 6



DESCARGA DE IMAGEN	FECHA	NIVEL	PRECIPITACION MENSUAL	DIAS	PRECIPITACION/DIA	DIFERENCIA
LC08_L1TP_232072_20130726_20200912_02_T1	26/07/2013	NIVEL 1	81.4	31	2.62	0.65
LC08_L1TP_231072_20150826_20200908_02_T1	26/08/2015	NIVEL 1	61.06	31	1.97	



PLANO DE UBICACIÓN ESC. 1:10 000 000

LEYENDA

NDWI 2015.TIF

Value

High : 0,416532

Low : -0,656448

Municipios

INDICE DIFERENCIAL DE AGUA NORMALIZADO (NDWI)

DIA	MES	AÑO
26	7	2013
26	8	2015

NDWI	DIFERENCIA
-0.72	-0.01
-0.71	

SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)

TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".

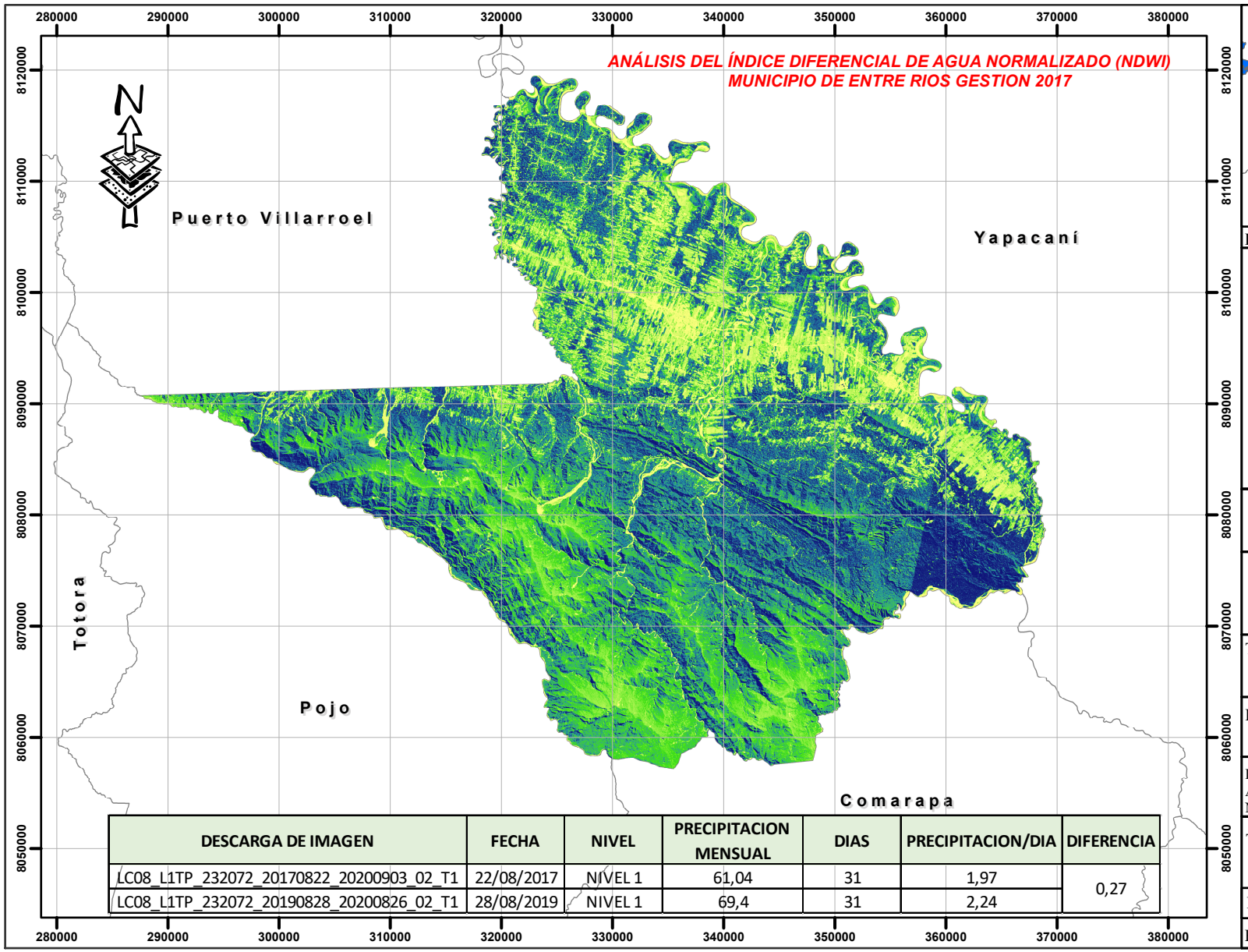
POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA

DESCRIPCIÓN :
ANÁLISIS DEL ÍNDICE DIFERENCIAL DE AGUA NORMALIZADO (NDWI) GESTION 2015

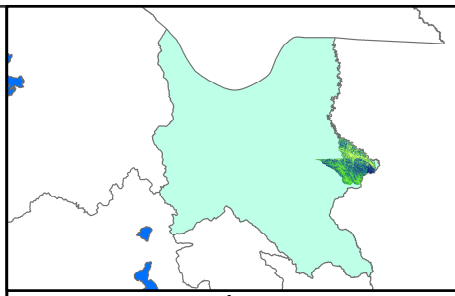
TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS

FECHA: 6-11-2023

ESCALA: 1:530 000



DESCARGA DE IMAGEN	FECHA	NIVEL	PRECIPITACION MENSUAL	DIAS	PRECIPITACION/DIA	DIFERENCIA
LC08_L1TP_232072_20170822_20200903_02_T1	22/08/2017	NIVEL 1	61,04	31	1,97	0,27
LC08_L1TP_232072_20190828_20200826_02_T1	28/08/2019	NIVEL 1	69,4	31	2,24	



PLANO DE UBICACIÓN ESC. 1:10 000 000

LEYENDA

NDWI 2017.TIF

Value

High : 0,599283

Low : -0,523464

Municipios

INDICE DIFERENCIAL DE AGUA NORMALIZADO (NDWI)

DIA	MES	AÑO
22	8	2017
28	8	2019

NDWI	DIFERENCIA
-0,71	-0,03
-0,68	

SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)

TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".

POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA

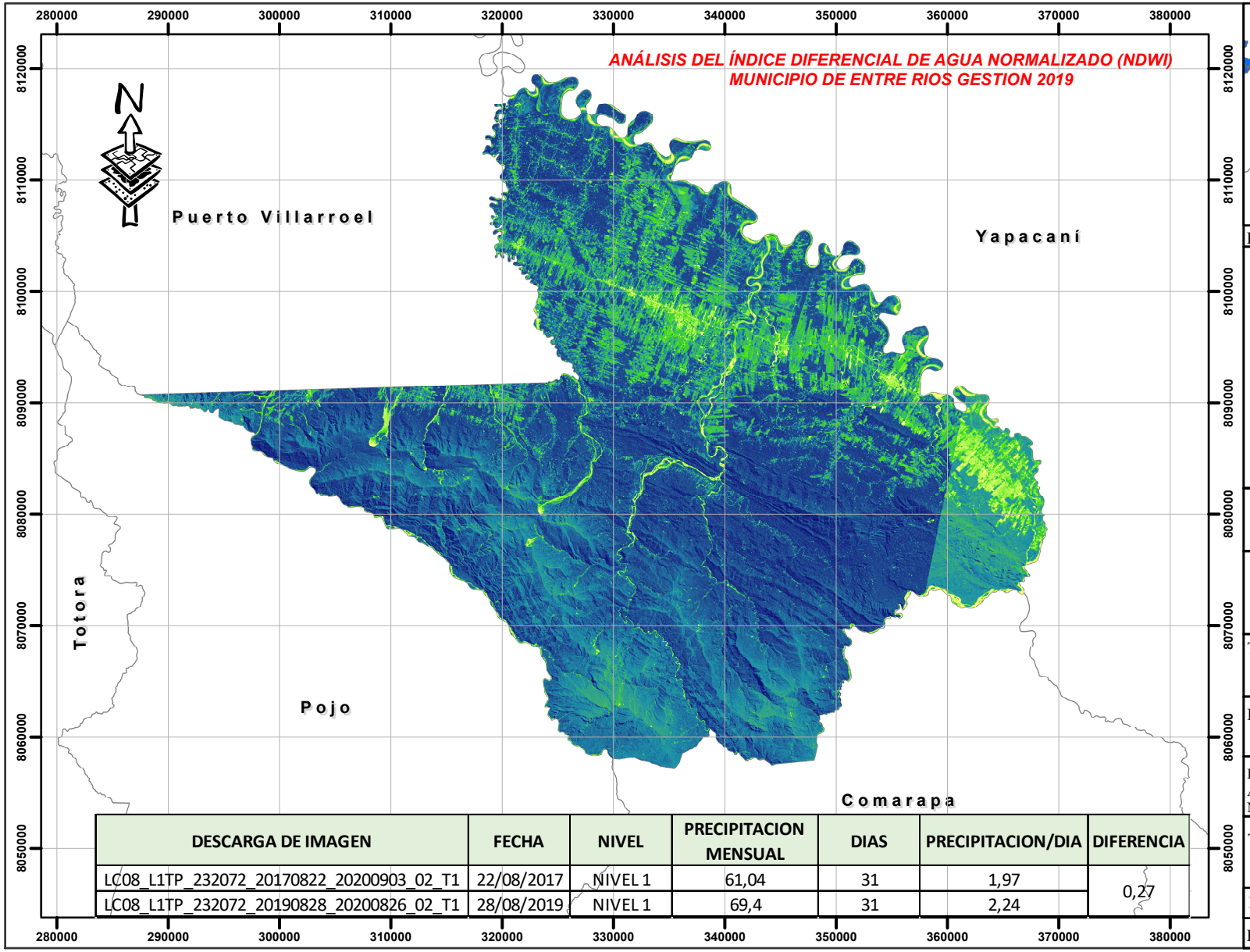
DESCRIPCIÓN :
ANÁLISIS DEL ÍNDICE DIFERENCIAL DE AGUA NORMALIZADO (NDWI) GESTION 2017

TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS

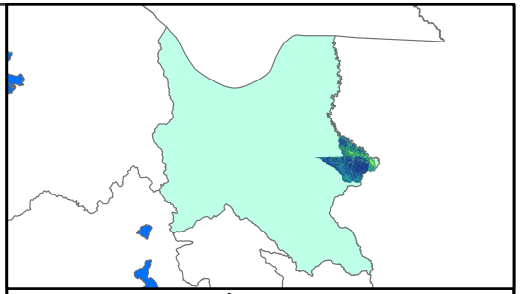
FECHA: 6-11-2023

ESCALA: 1:530 000

3
6



DESCARGA DE IMAGEN	FECHA	NIVEL	PRECIPITACION MENSUAL	DIAS	PRECIPITACION/DIA	DIFERENCIA
LC08_L1TP_232072_20170822_20200903_02_T1	22/08/2017	NIVEL 1	61,04	31	1,97	0,27
LC08_L1TP_232072_20190828_20200826_02_T1	28/08/2019	NIVEL 1	69,4	31	2,24	



PLANO DE UBICACIÓN ESC. 1:10 000 000

LEYENDA

NDWI 2019.TIF

Value

High : 0.361901

Low : -0.536206

Municipios

INDICE DIFERENCIAL DE AGUA NORMALIZADO (NDWI)

DIA	MES	AÑO
22	8	2017
28	8	2019

NDWI	DIFERENCIA
-0,71	-0,03
-0,68	

SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)

TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".

POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA

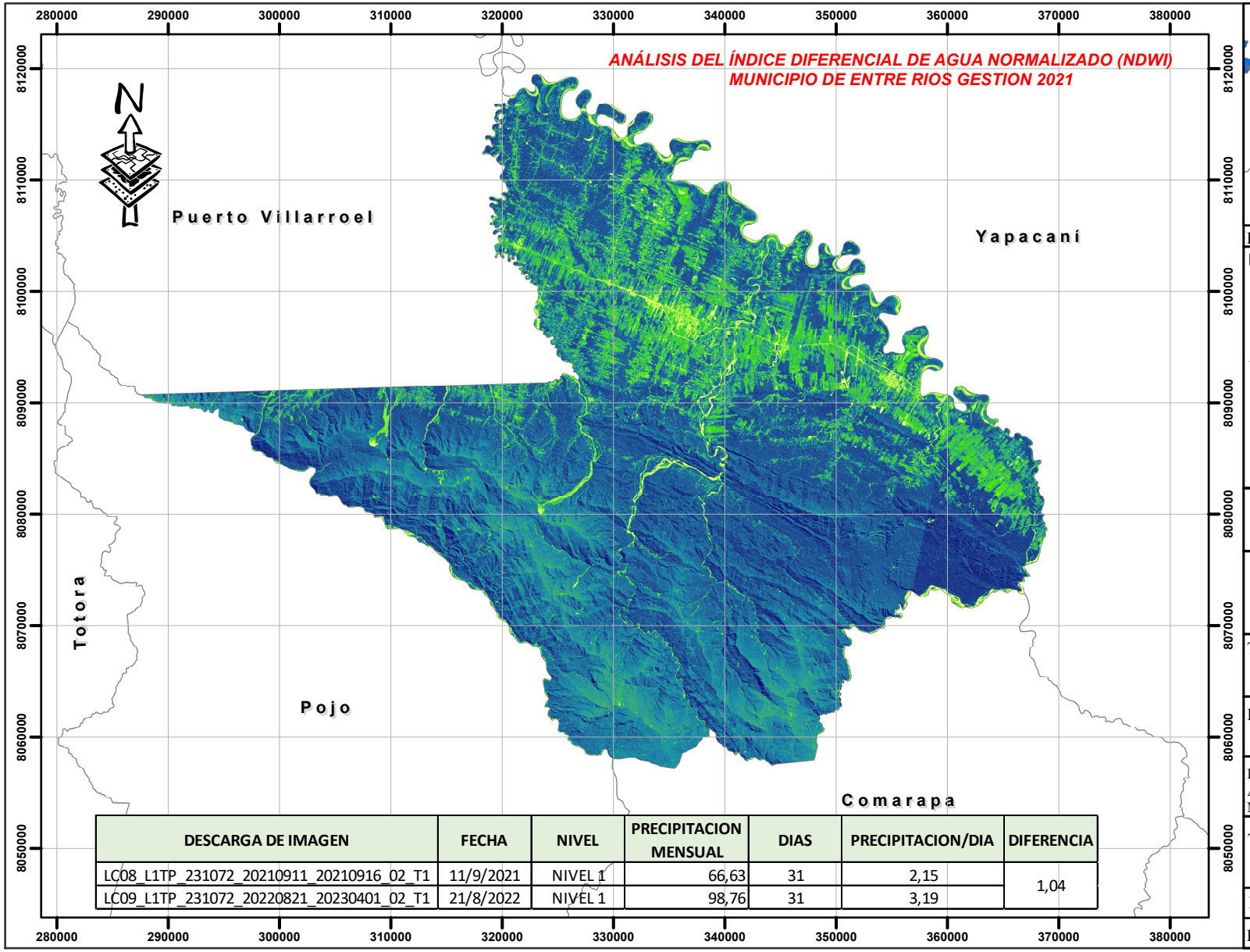
DESCRIPCIÓN :
ANÁLISIS DEL ÍNDICE DIFERENCIAL DE AGUA NORMALIZADO (NDWI) GESTION 2019

TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS

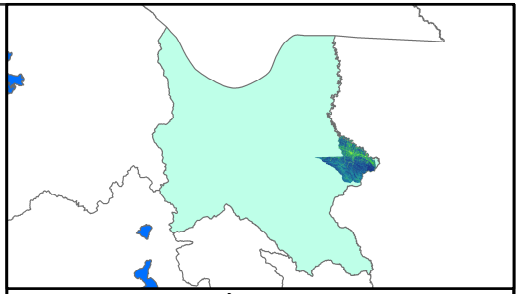
FECHA: 6-11-2023

ESCALA: 1:530 000

4
6



DESCARGA DE IMAGEN	FECHA	NIVEL	PRECIPITACION MENSUAL	DIAS	PRECIPITACION/DIA	DIFERENCIA
LC08_L1TP_231072_20210911_20210916_02_T1	11/9/2021	NIVEL 1	66,63	31	2,15	1,04
LC09_L1TP_231072_20220821_20230401_02_T1	21/8/2022	NIVEL 1	98,76	31	3,19	



PLANO DE UBICACIÓN ESC. 1:10 000 000

LEYENDA

NDWI 2021.TIF

Value

High : 1

Low : -0,745389

INDICE DIFERENCIAL DE AGUA

DIA	MES	AÑO
11	9	2021
21	8	2022

NDWI	DIFERENCIA
-0,69	-0,02
-0,71	

SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)

TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".

POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA

DESCRIPCIÓN :
ANÁLISIS DEL ÍNDICE DIFERENCIAL DE AGUA NORMALIZADO (NDWI) GESTION 2021

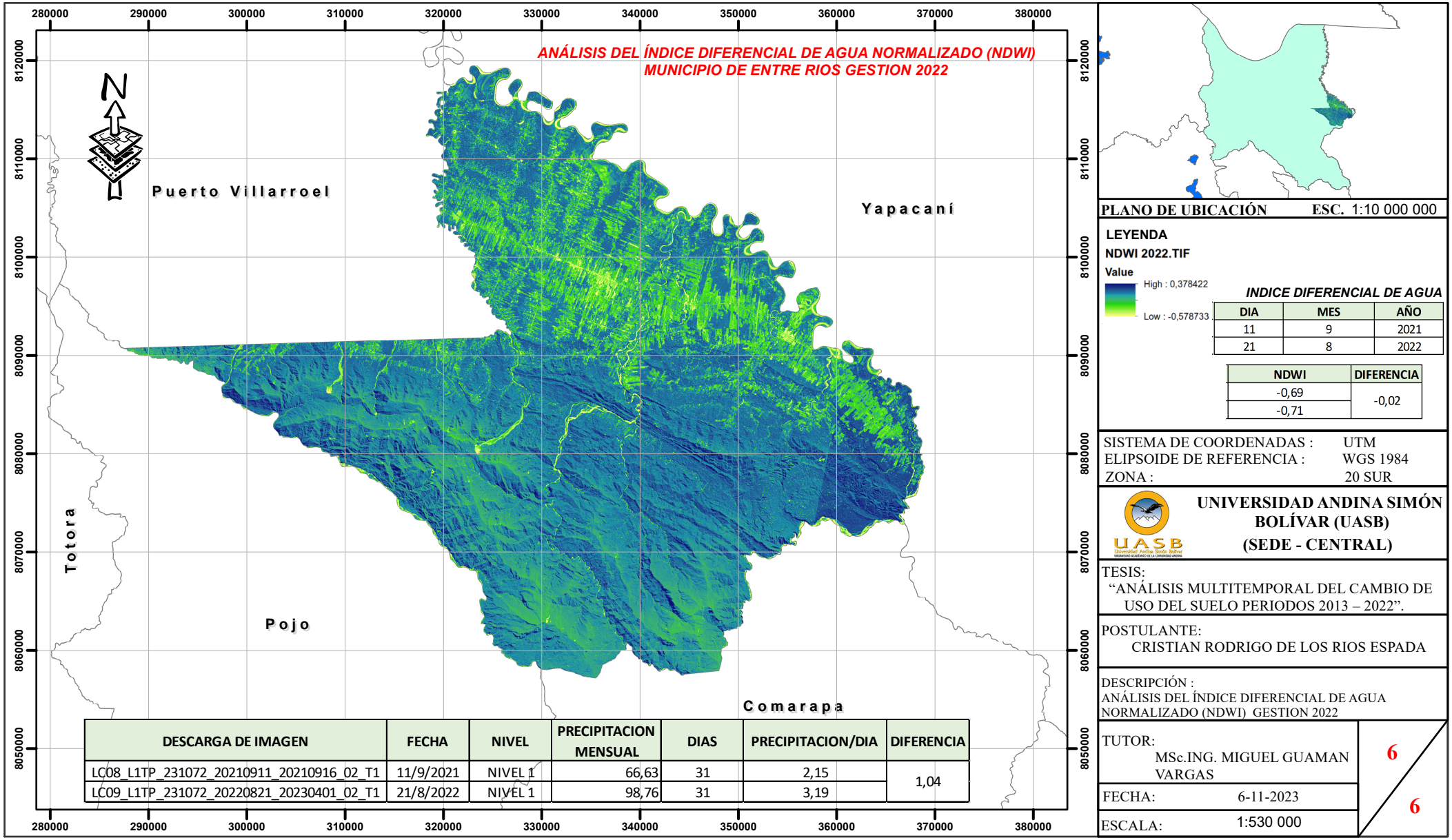
TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS

FECHA: 6-11-2023

ESCALA: 1:530 000

5

6



DESCARGA DE IMAGEN	FECHA	NIVEL	PRECIPITACION MENSUAL	DIAS	PRECIPITACION/DIA	DIFERENCIA
LC08_L1TP_231072_20210911_20210916_02_T1	11/9/2021	NIVEL 1	66,63	31	2,15	1,04
LC09_L1TP_231072_20220821_20230401_02_T1	21/8/2022	NIVEL 1	98,76	31	3,19	

PLANO DE UBICACIÓN ESC. 1:10 000 000

LEYENDA

NDWI 2022.TIF

Value

High : 0,378422

Low : -0,578733

INDICE DIFERENCIAL DE AGUA

DIA	MES	AÑO
11	9	2021
21	8	2022

NDWI	DIFERENCIA
-0,69	-0,02
-0,71	

SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)

TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".

POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA

DESCRIPCIÓN :
ANÁLISIS DEL ÍNDICE DIFERENCIAL DE AGUA NORMALIZADO (NDWI) GESTION 2022

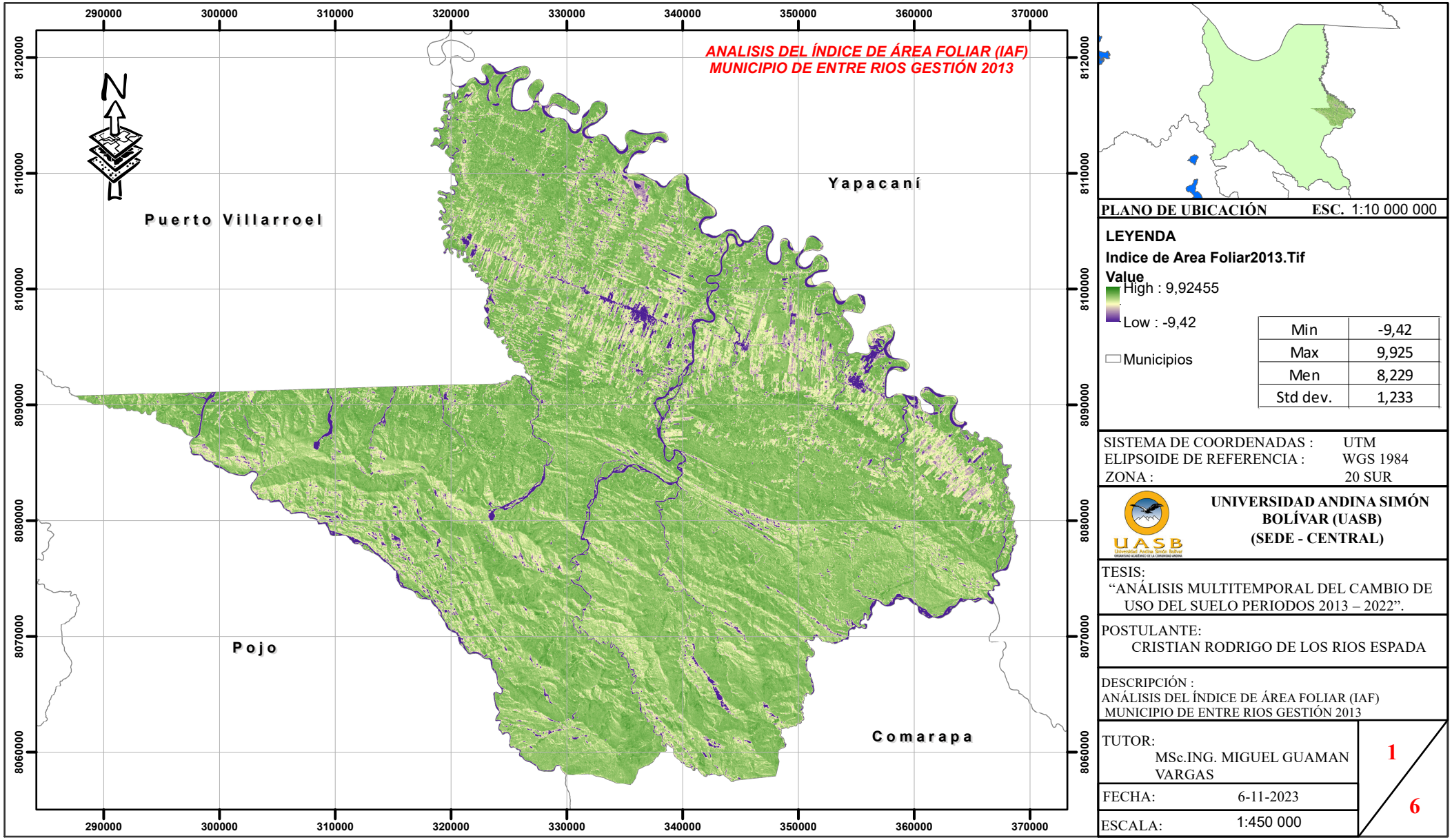
TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS

FECHA: 6-11-2023

ESCALA: 1:530 000

6
6

ANEXO 6: MAPAS DE ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF) GESTIÓN 2013 - 2022



PLANO DE UBICACIÓN ESC. 1:10 000 000

LEYENDA

Indice de Area Foliar2013.Tif

Value

High : 9,92455

Low : -9,42

Municipios

Min	-9,42
Max	9,925
Men	8,229
Std dev.	1,233

SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)

TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".

POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA

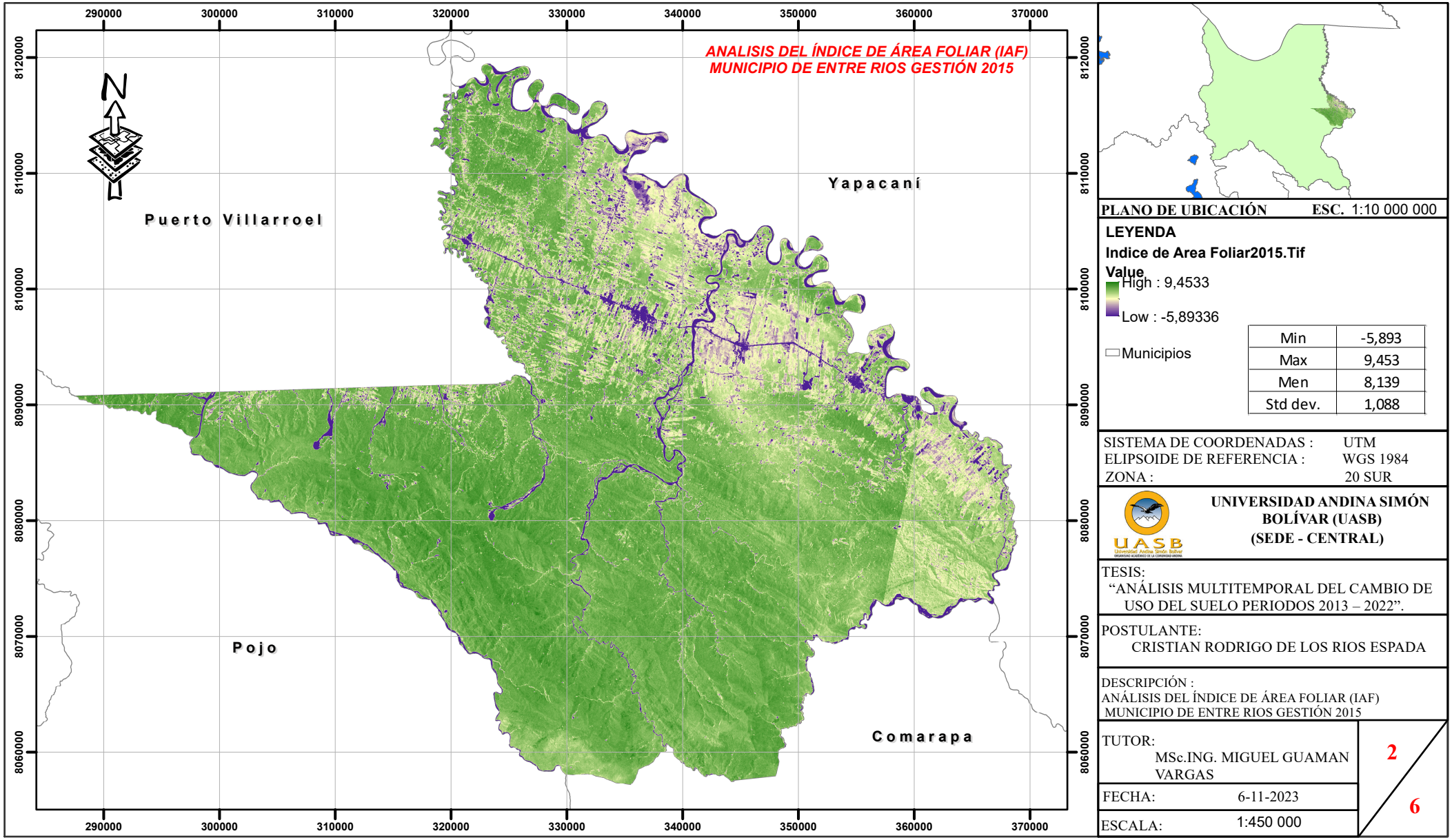
DESCRIPCIÓN :
ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)
MUNICIPIO DE ENTRE RIOS GESTIÓN 2013

TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS

FECHA: 6-11-2023

ESCALA: 1:450 000

1
6



PLANO DE UBICACIÓN ESC. 1:10 000 000

LEYENDA

Indice de Area Foliar2015.Tif

Value

High : 9,4533

Low : -5,89336

Municipios

Min	-5,893
Max	9,453
Men	8,139
Std dev.	1,088

SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)

TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".

POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA

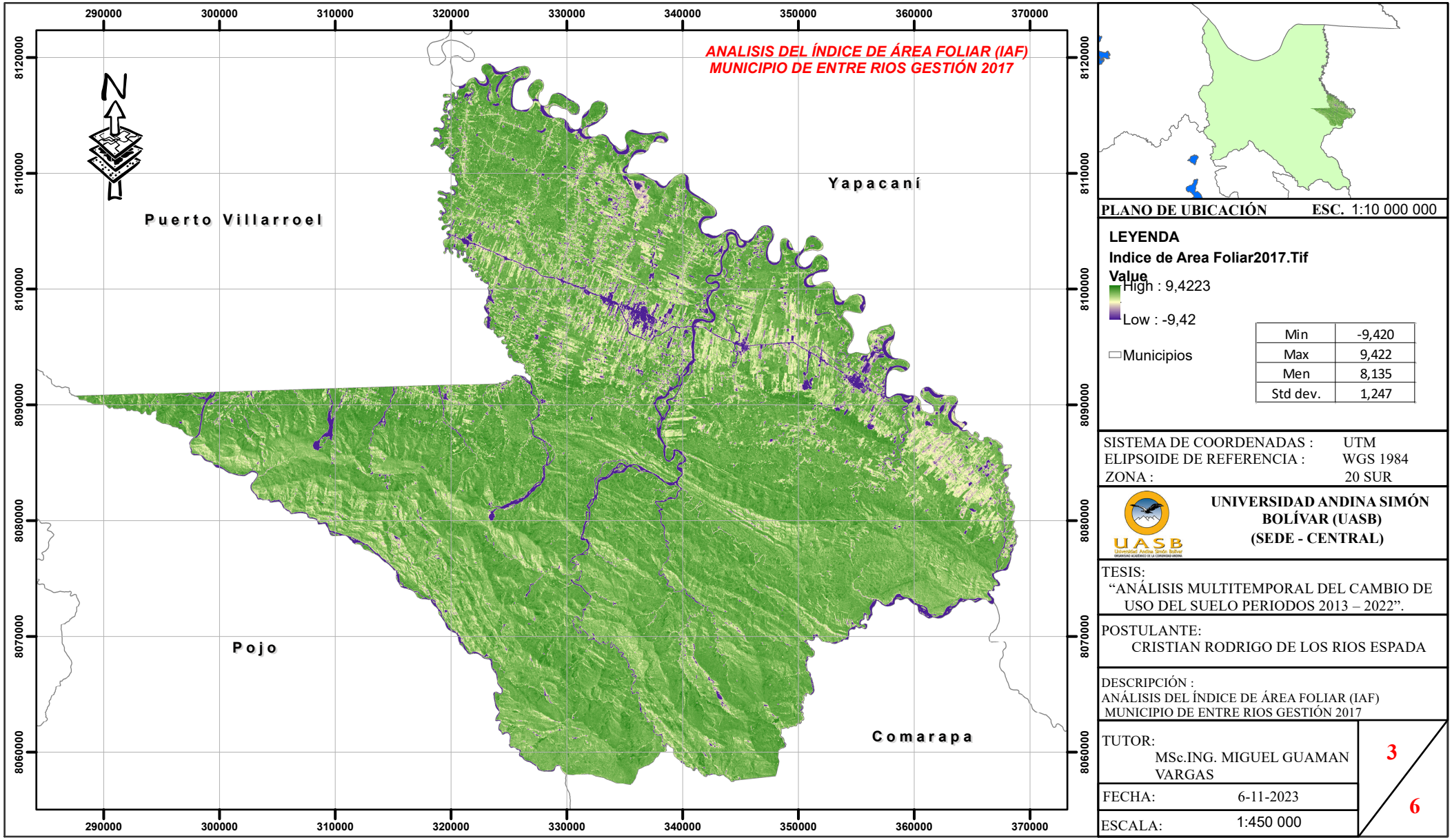
DESCRIPCIÓN :
ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)
MUNICIPIO DE ENTRE RIOS GESTIÓN 2015

TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS

FECHA: 6-11-2023

ESCALA: 1:450 000

2
6



PLANO DE UBICACIÓN ESC. 1:10 000 000

LEYENDA

Indice de Area Foliar2017.Tif

Value

High : 9,4223

Low : -9,42

Municipios

Min	-9,420
Max	9,422
Men	8,135
Std dev.	1,247

SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)

TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".

POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA

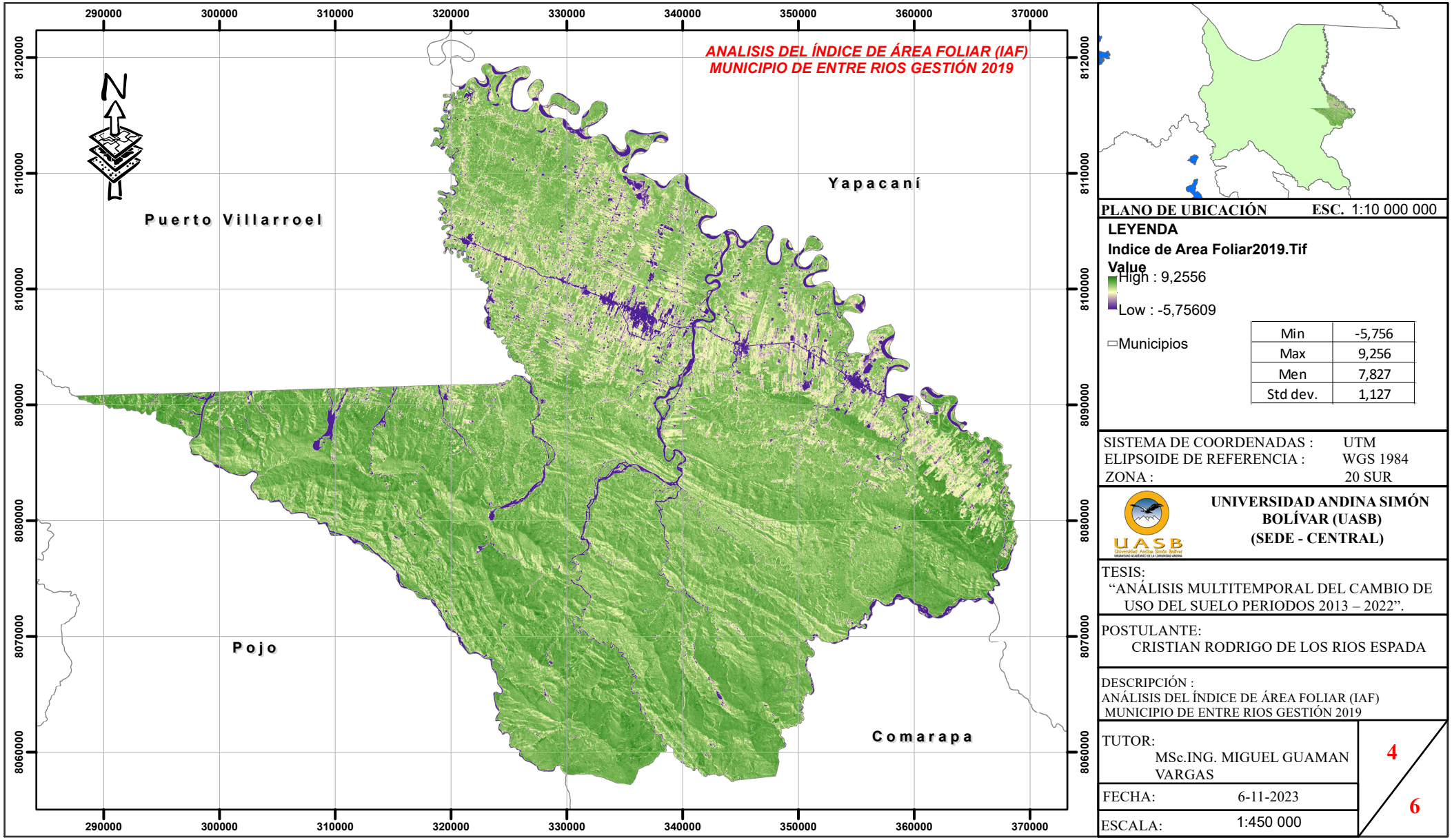
DESCRIPCIÓN :
ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)
MUNICIPIO DE ENTRE RIOS GESTIÓN 2017

TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS

FECHA: 6-11-2023

ESCALA: 1:450 000

3
6



PLANO DE UBICACIÓN ESC. 1:10 000 000

LEYENDA

Indice de Area Foliar2019.Tif

Value

High : 9,2556

Low : -5,75609

Municipios

Min	-5,756
Max	9,256
Men	7,827
Std dev.	1,127

SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)

TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".

POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA

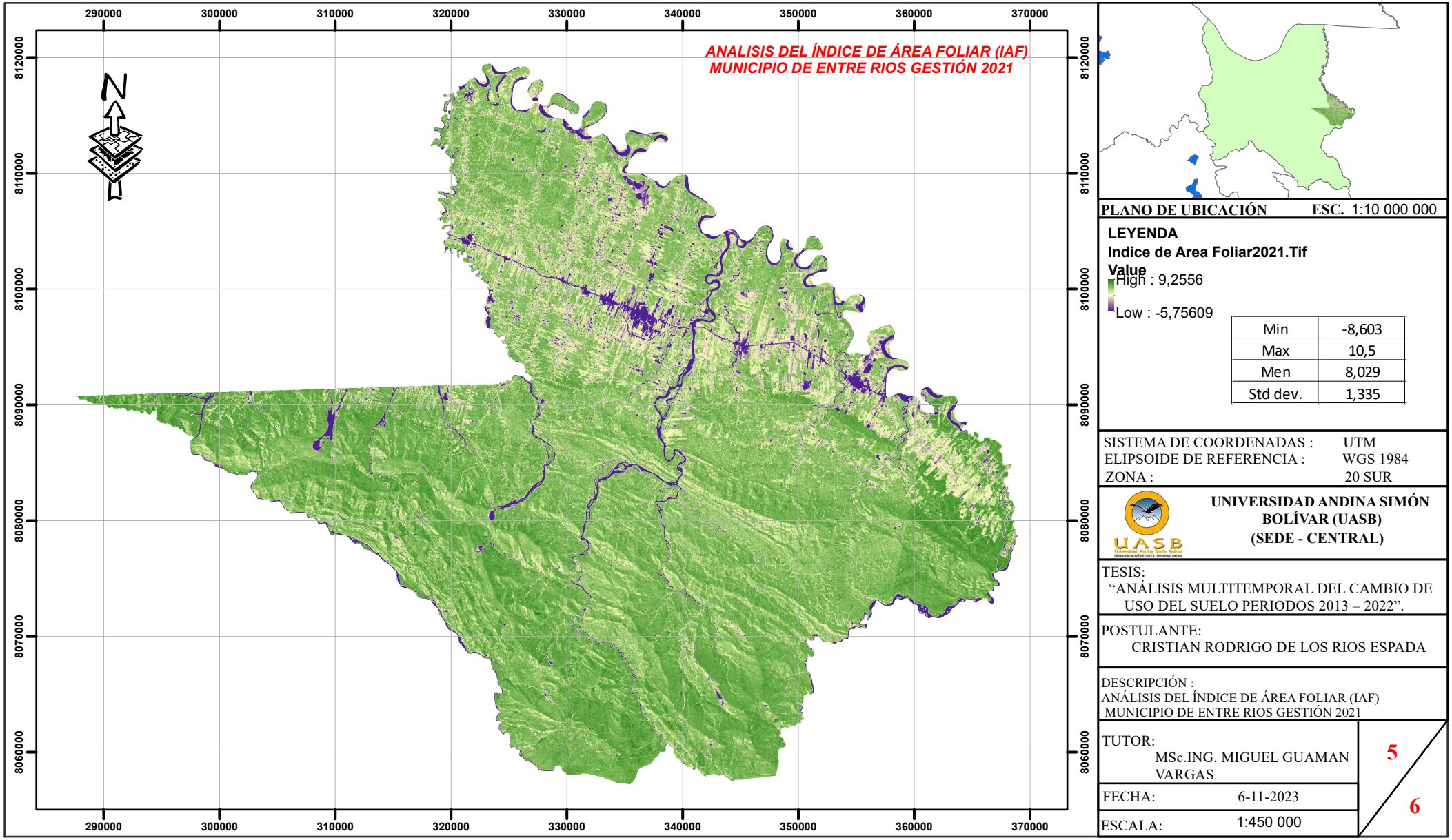
DESCRIPCIÓN :
ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)
MUNICIPIO DE ENTRE RIOS GESTIÓN 2019

TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS

FECHA: 6-11-2023

ESCALA: 1:450 000

4
6



PLANO DE UBICACIÓN ESC. 1:10 000 000

LEYENDA

Indice de Area Foliar2021.Tif

Value

High : 9,2556

Low : -5,75609

Min	-8,603
Max	10,5
Men	8,029
Std dev.	1,335

SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)

TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".

POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA

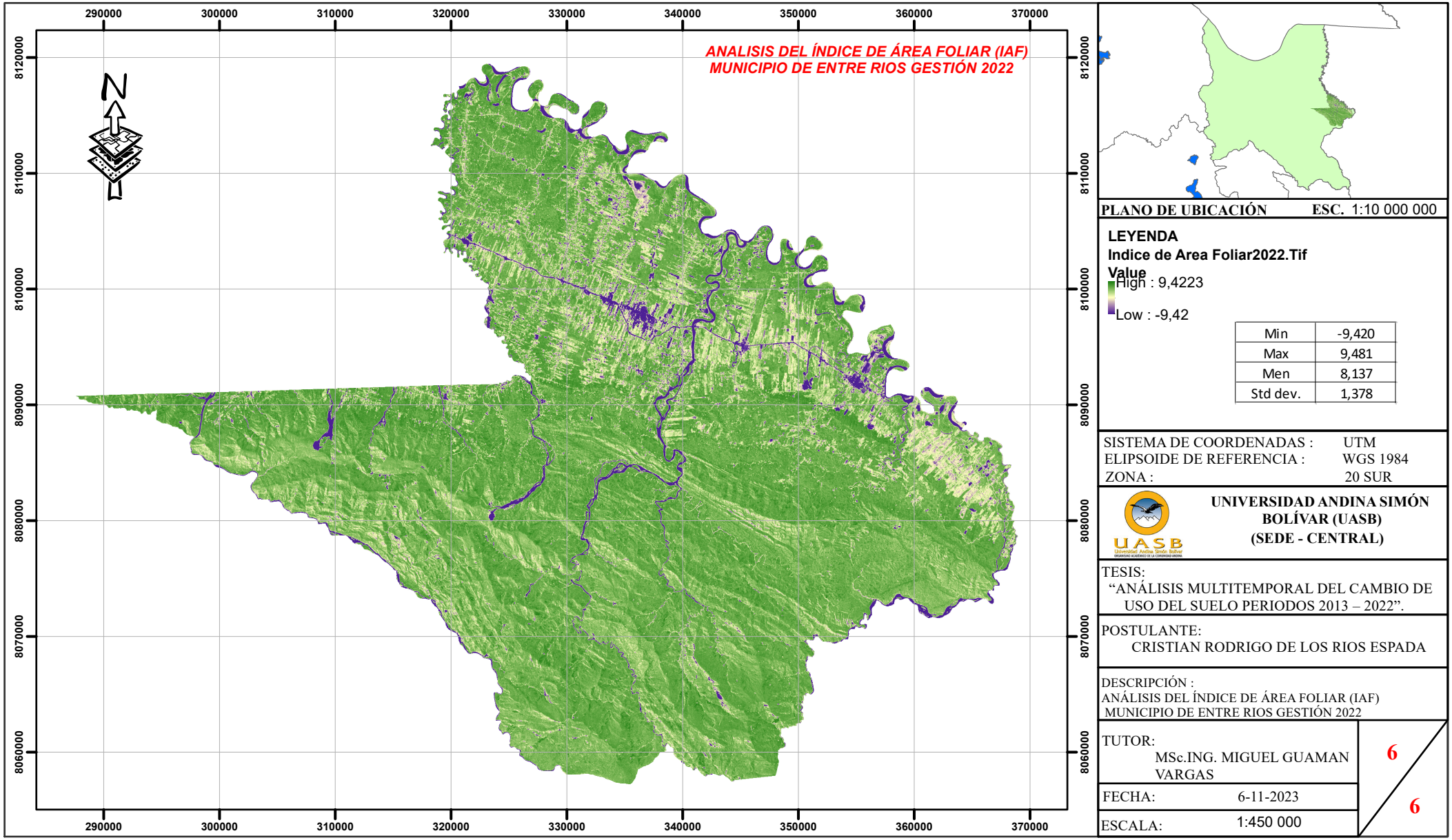
DESCRIPCIÓN :
ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)
MUNICIPIO DE ENTRE RIOS GESTIÓN 2021

TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS

FECHA: 6-11-2023

ESCALA: 1:450 000

5
6



PLANO DE UBICACIÓN ESC. 1:10 000 000

LEYENDA

Indice de Area Foliar2022.Tif

Value

High : 9,4223

Low : -9,42

Min	-9,420
Max	9,481
Men	8,137
Std dev.	1,378

SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)

TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".

POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA

DESCRIPCIÓN :
ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)
MUNICIPIO DE ENTRE RIOS GESTIÓN 2022

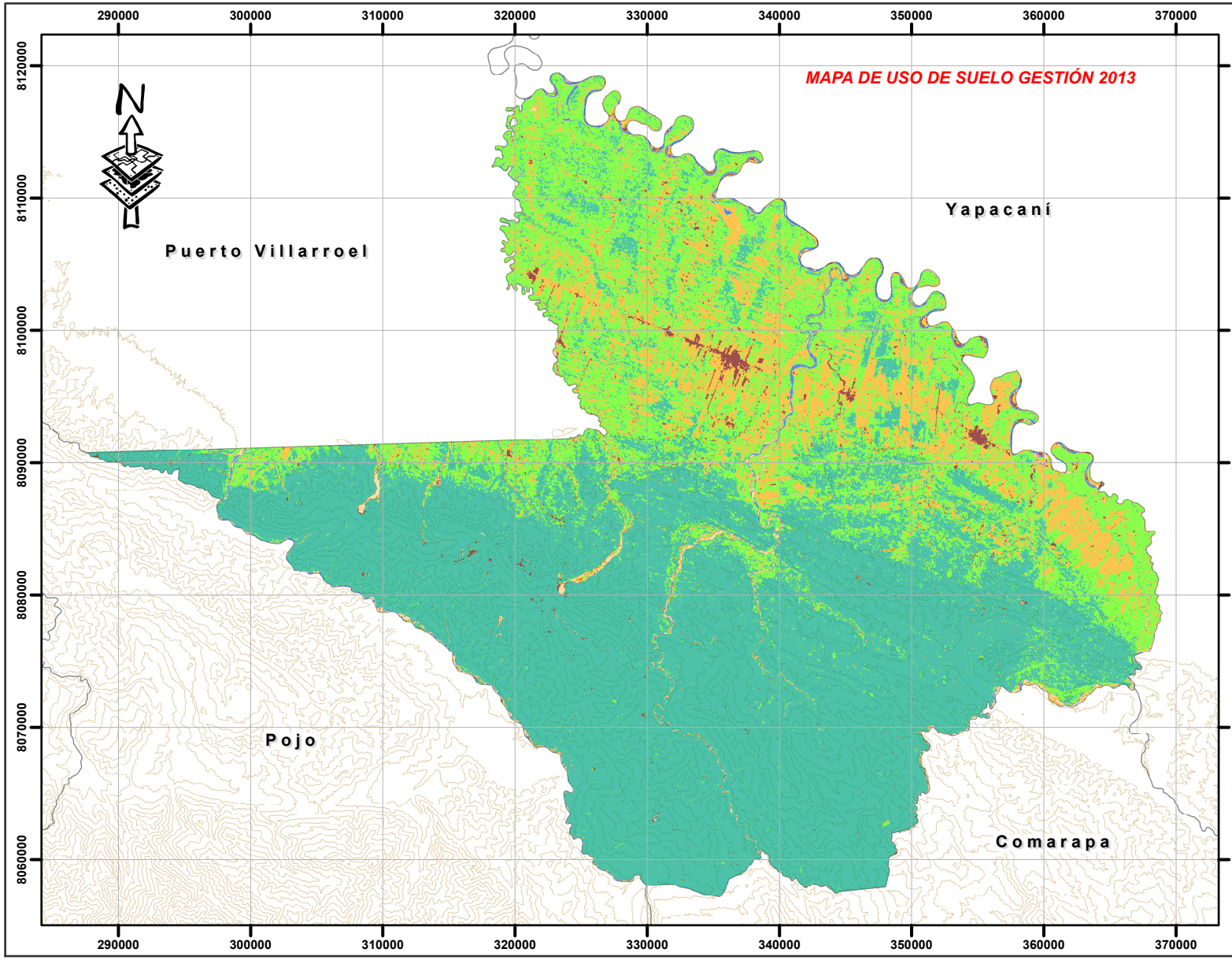
TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS

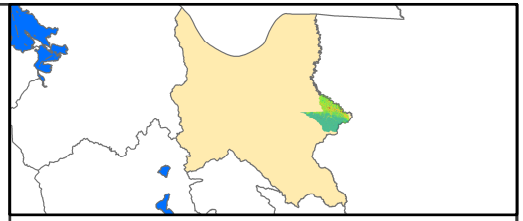
FECHA: 6-11-2023

ESCALA: 1:450 000

6
6

ANEXO 7: MAPAS DE ANÁLISIS DE USO DE SUELO DEL MUNICIPIO DE ENTRE RÍOS GESTIÓN 2013 - 2022





PLANO DE UBICACIÓN **ESC.** 1:12 500 000

LEYENDA

- USO AGROPECUARIO
- ZONA URBANA
- CUERPOS DE AGUA
- BOSQUE YUNGUEÑO
- SUELO DESNUDO
- BOSQUE AMAZONICO
- CURVAS CADA 200

Cod	2013 Sup. km^2
UA	235.80
ZU	31.16
CA	38.65
BY	1297.63
SD	17.53
BA	576.25
TOTAL	2197.03

MATRIZ DE COINCIDENCIA GESTION 2013

RASTER_VALU	UA	ZU	CA	BY	SD	BA	TOTAL	PRECISION
USO AGROPECUARIO	118	9	0	1	0	6	134	**88.06%**
ZONA URBANA	3	89	0	0	3	0	95	**93.68%**
CUERPOS DE AGUA	0	0	127	0	1	0	128	**99.22%**
BOSQUE YUNGUEÑO	0	0	0	95	0	4	99	**95.96%**
SUELO DESNUDO	1	2	3	0	96	0	102	**94.12%**
BOSQUE AMAZONICO	8	0	0	4	0	90	102	**88.24%**
RESULTADOS	**130**	**100**	**130**	**100**	**100**	**100**	**660**	**93.18%**

SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)

TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".

POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA

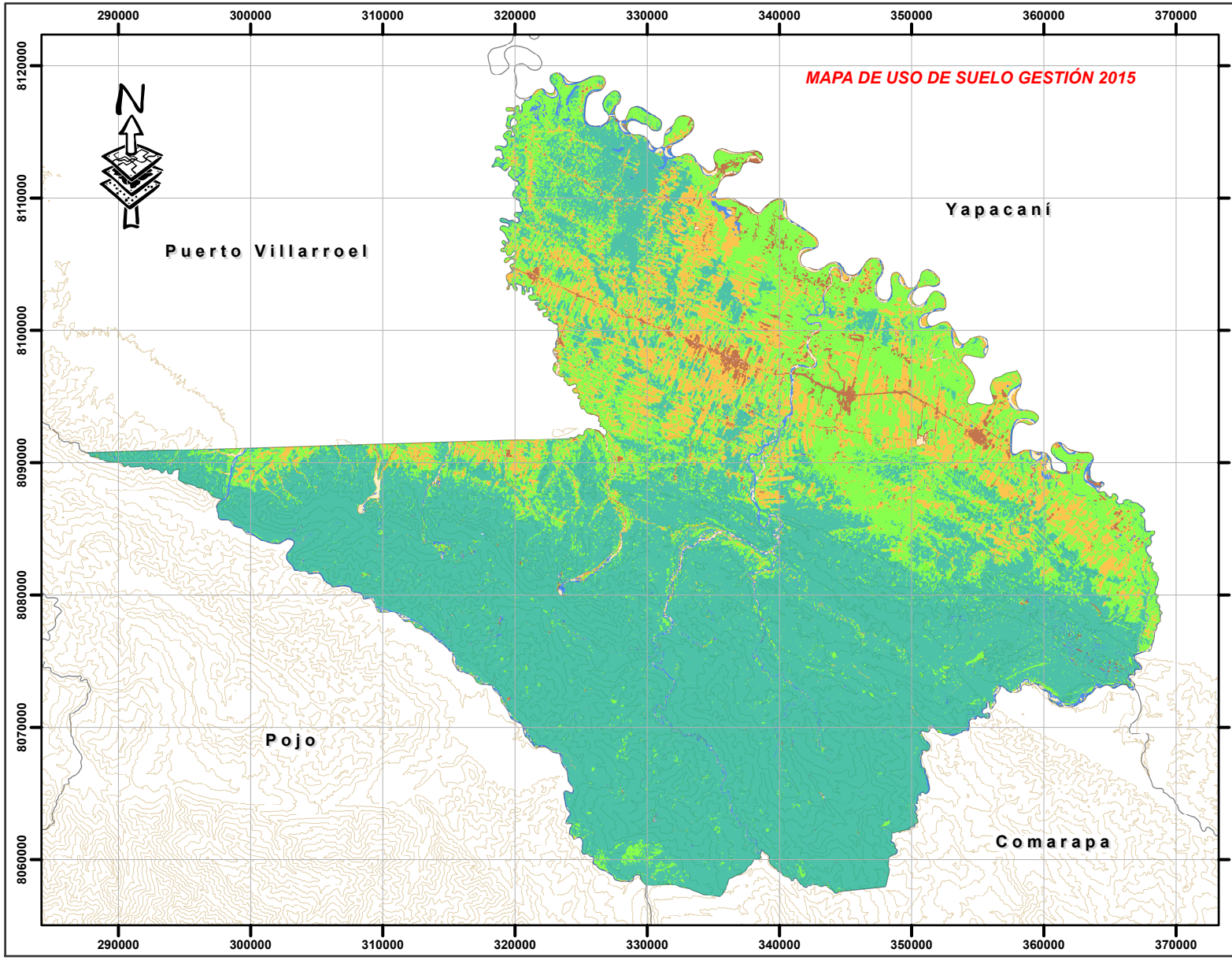
DESCRIPCIÓN :
MAPA DE USO DE SUELO GESTIÓN 2013

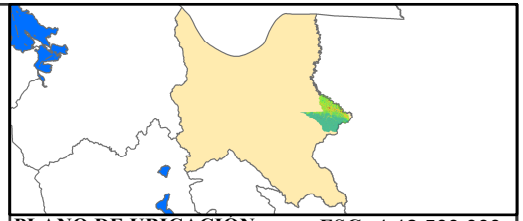
TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS

FECHA: 6-11-2023

ESCALA: 1:450 000

1
6





PLANO DE UBICACIÓN ESC. 1:12 500 000

LEYENDA

- BOSQUE YUNGUEÑO
- BOSQUE AMAZONICO
- USO AGROPECUARIO
- CUERPOS DE AGUA
- ZONA URBANA
- SUELO DESNUDO
- CURVAS CADA 200

Cod	2015 Sup. km^2
UA	238.05
ZU	30.68
CA	42.51
BY	1329.88
SD	24.02
BA	531.90
TOTAL	2197.03

MATRIZ DE COINCIDENCIA 2015

RASTER _ VALU	UA	ZU	CA	BY	SD	BA	TOTAL	PRECISION
USO AGROPECUARIO	91	3	0	0	7	12	113	80.53%
ZONA URBANA	7	93	0	2	3	0	105	88.57%
CUERPOS DE AGUA	0	0	123	0	3	0	126	97.62%
BOSQUE YUNGUEÑO	0	0	0	96	0	3	99	96.97%
SUELO DESNUDO	1	3	7	0	85	0	96	88.54%
BOSQUE AMAZONICO	31	1	0	2	2	85	121	70.25%
RESULTADOS	130	100	130	100	100	100	660	86.82%

SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)

TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".

POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA

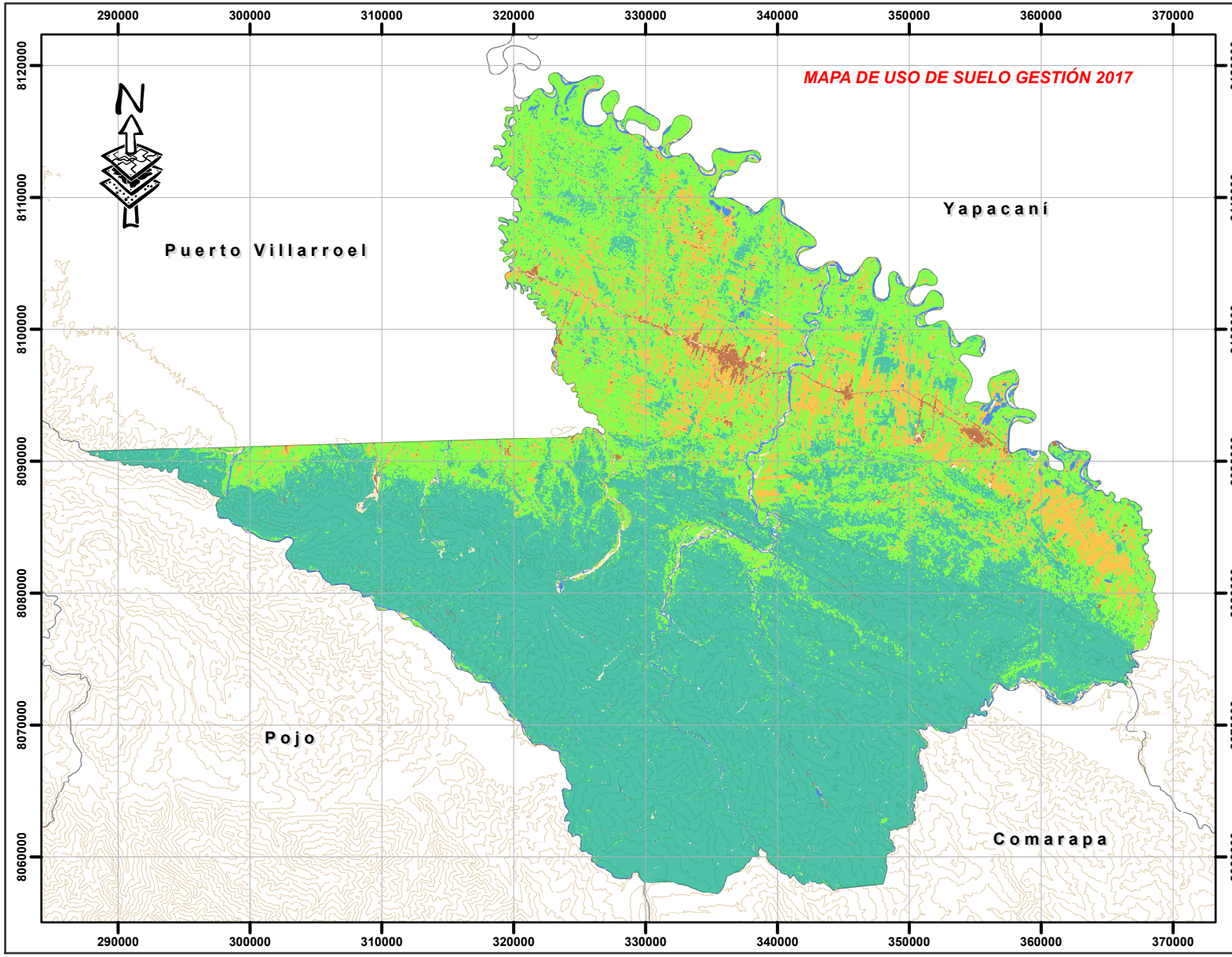
DESCRIPCIÓN :
MAPA DE USO DE SUELO GESTIÓN 2015

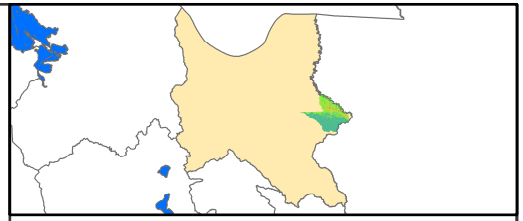
TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS

FECHA: 6-11-2023

ESCALA: 1:450 000

2
6





PLANO DE UBICACIÓN ESC. 1:12 500 000

LEYENDA

- BOSQUE YUNGUEÑO
- BOSQUE AMAZONICO
- USO AGROPECUARIO
- CUERPOS DE AGUA
- ZONA URBANA
- SUELO DESNUDO
- CURVAS CADA 200

Cod	2017 Sup. km²
UA	197.46
ZU	29.99
CA	44.87
BY	1228.28
SD	24.01
BA	672.43
TOTAL	2197.03

MATRIZ DE COINCIDENCIA GESTION 2017

RASTER_VALU	UA	ZU	CA	BY	SD	BA	TOTAL	PRECISION
USO AGROPECUARIO	118	9	0	1	0	6	134	**88.06%**
ZONA URBANA	3	89	0	0	3	0	95	**93.68%**
CUERPOS DE AGUA	0	0	127	0	1	0	128	**99.22%**
BOSQUE YUNGUEÑO	0	0	0	95	0	4	99	**95.96%**
SUELO DESNUDO	1	2	3	0	96	0	102	**94.12%**
BOSQUE AMAZONICO	8	0	0	4	0	90	102	**88.24%**
RESULTADOS	**130**	**100**	**130**	**100**	**100**	**100**	**660**	**93.18%**

SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)

TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".

POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA

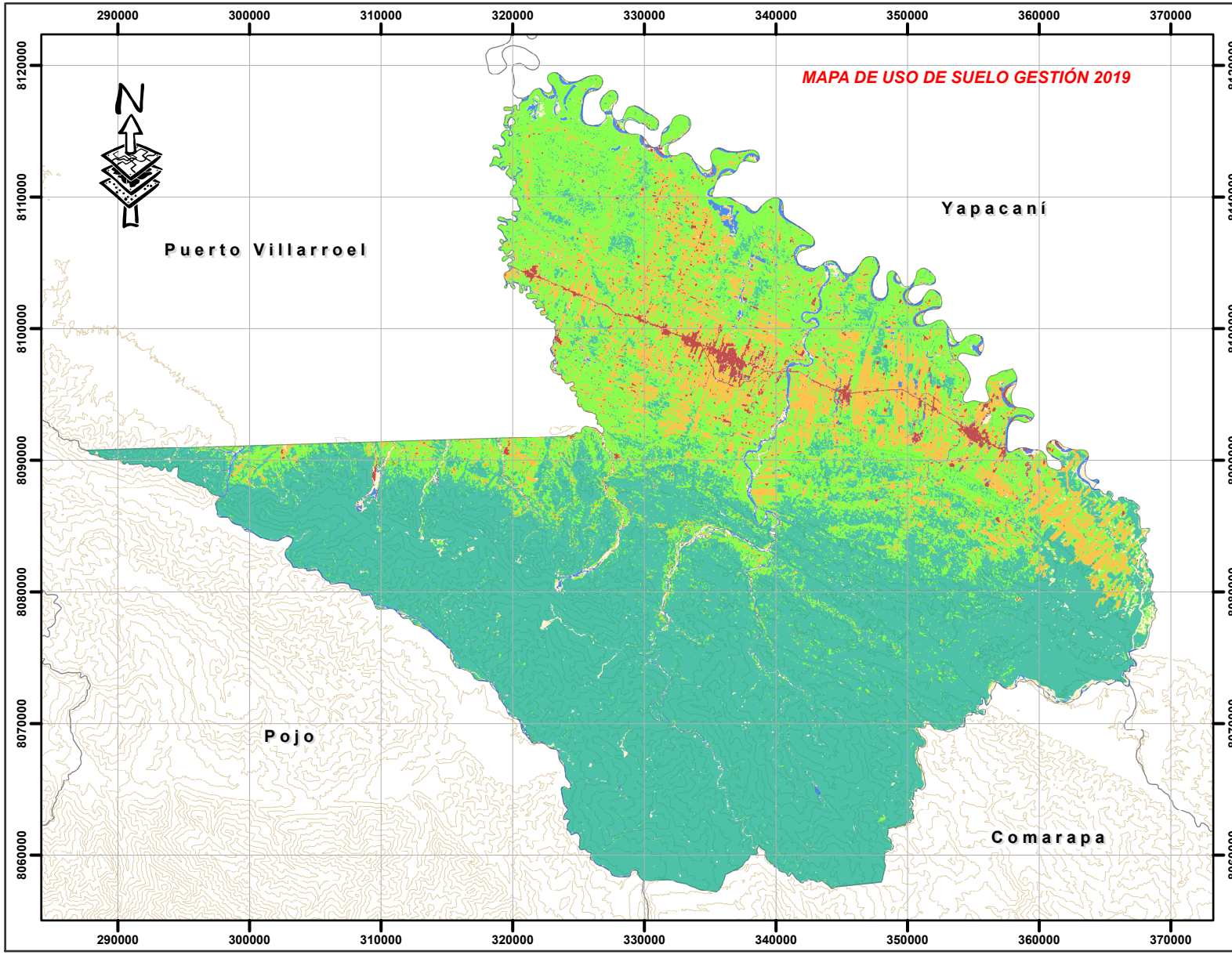
DESCRIPCIÓN :
MAPA DE USO DE SUELO GESTIÓN 2017

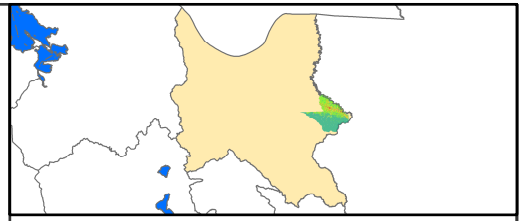
TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS

FECHA: 6-11-2023

ESCALA: 1:450 000

3
6





PLANO DE UBICACIÓN **ESC.** 1:12 500 000

LEYENDA

- BOSQUE YUNGUEÑO
- BOSQUE AMAZONICO
- USO AGROPECUARIO
- CUERPOS DE AGUA
- ZONA URBANA
- SUELO DESNUDO
- CURVAS CADA 200

Cod	2019 Sup. km²
UA	213.33
ZU	33.04
CA	38.71
BY	1254.67
SD	33.19
BA	624.09
TOTAL	2197.03

MATRIZ DE COINCIDENCIA GESTION 2019

RASTERVALU	BY	CA	ZU	UA	SD	BA	TOTAL	PRECISION
BOSQUE YUNGUEÑO	**92**	0	0	2	0	4	98	**93.88%**
CUERPOS DE AGUA	0	**124**	0	0	0	0	124	**100.00%**
ZONA URBANA	0	0	**89**	1	2	1	93	**95.70%**
USO AGROPECUARIO	0	1	5	**106**	2	15	129	**82.17%**
SUELO DESNUDO	0	5	6	3	**96**	0	110	**87.27%**
BOSQUE AMAZONICO	8	0	0	18	0	**80**	106	**75.47%**
RESULTADOS	**100**	**130**	**100**	**130**	**100**	**100**	**660**	**88.94%**

SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)

TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".

POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA

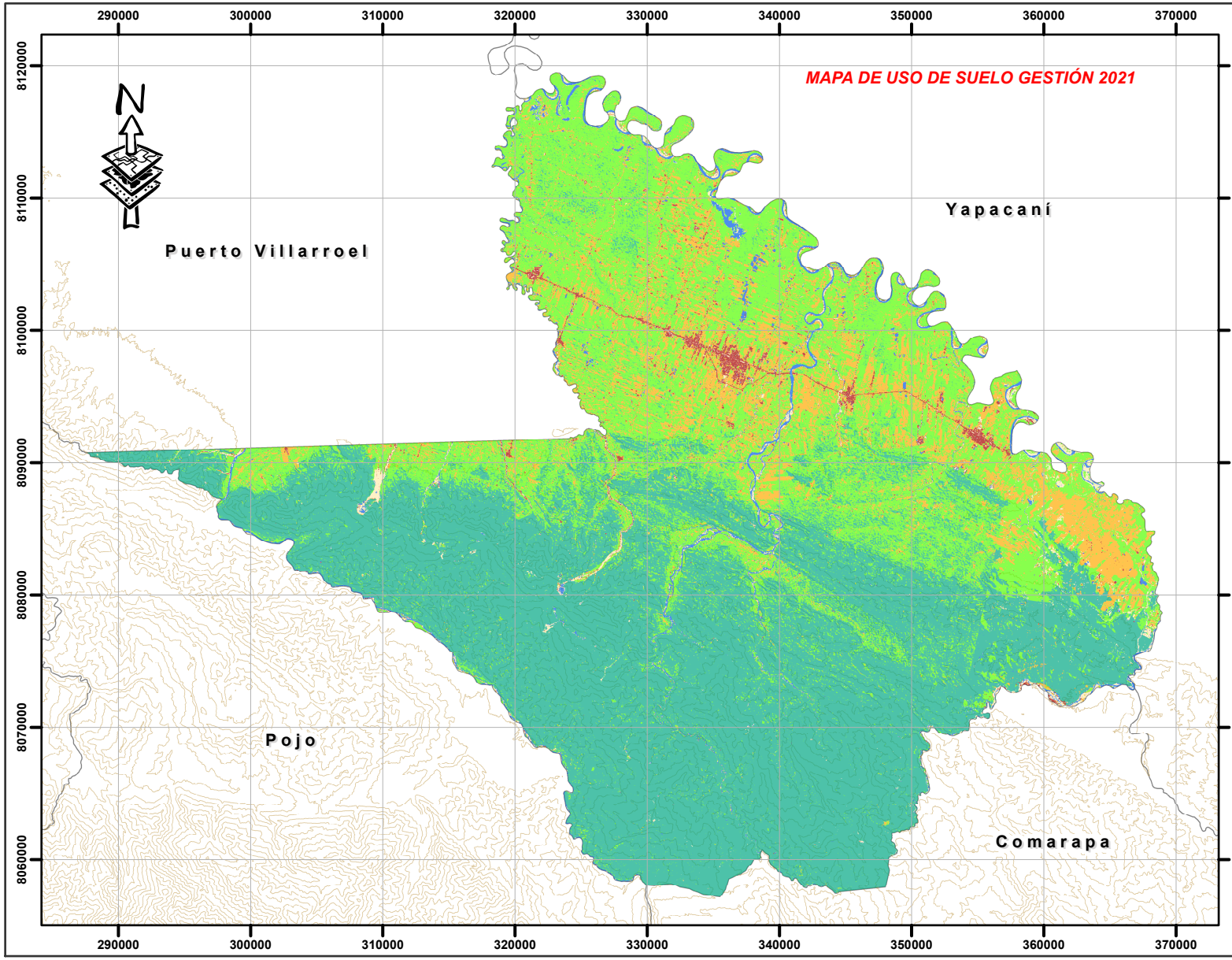
DESCRIPCIÓN :
MAPA DE USO DE SUELO GESTIÓN 2019

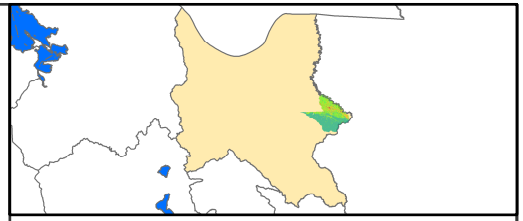
TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS

FECHA: 6-11-2023

ESCALA: 1:450 000

4
6





PLANO DE UBICACIÓN **ESC.** 1:12 500 000

LEYENDA

- BOSQUE YUNGUEÑO
- BOSQUE AMAZONICO
- USO AGROPECUARIO
- CUERPOS DE AGUA
- ZONA URBANA
- SUELO DESNUDO
- CURVAS CADA 200

Cod	2021 Sup. km²
UA	246.96
ZU	32.90
CA	37.98
BY	1127.39
SD	33.33
BA	718.47
TOTAL	2197.03

MATRIZ DE COINCIDENCIA GESTION 2021

RASTER-VALU	BY	ZU	CA	UA	SD	BA	TOTAL	PRECISION
BOSQUE YUNGUEÑO	92	0	0	0	0	5	97	**94.85%**
ZONA URBANA	0	88	4	0	10	0	102	**86.27%**
CUERPOS DE AGUA	0	0	124	0	3	0	127	**97.64%**
USO AGROPECUARIO	0	4	0	112	0	1	117	**95.73%**
SUELO DESNUDO	0	8	2	0	87	0	97	**89.69%**
BOSQUE AMAZONICO	8	0	0	18	0	94	120	**78.33%**
RESULTADOS	**100**	**100**	**130**	**130**	**100**	**100**	**660**	**90.45%**

SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)

TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".

POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA

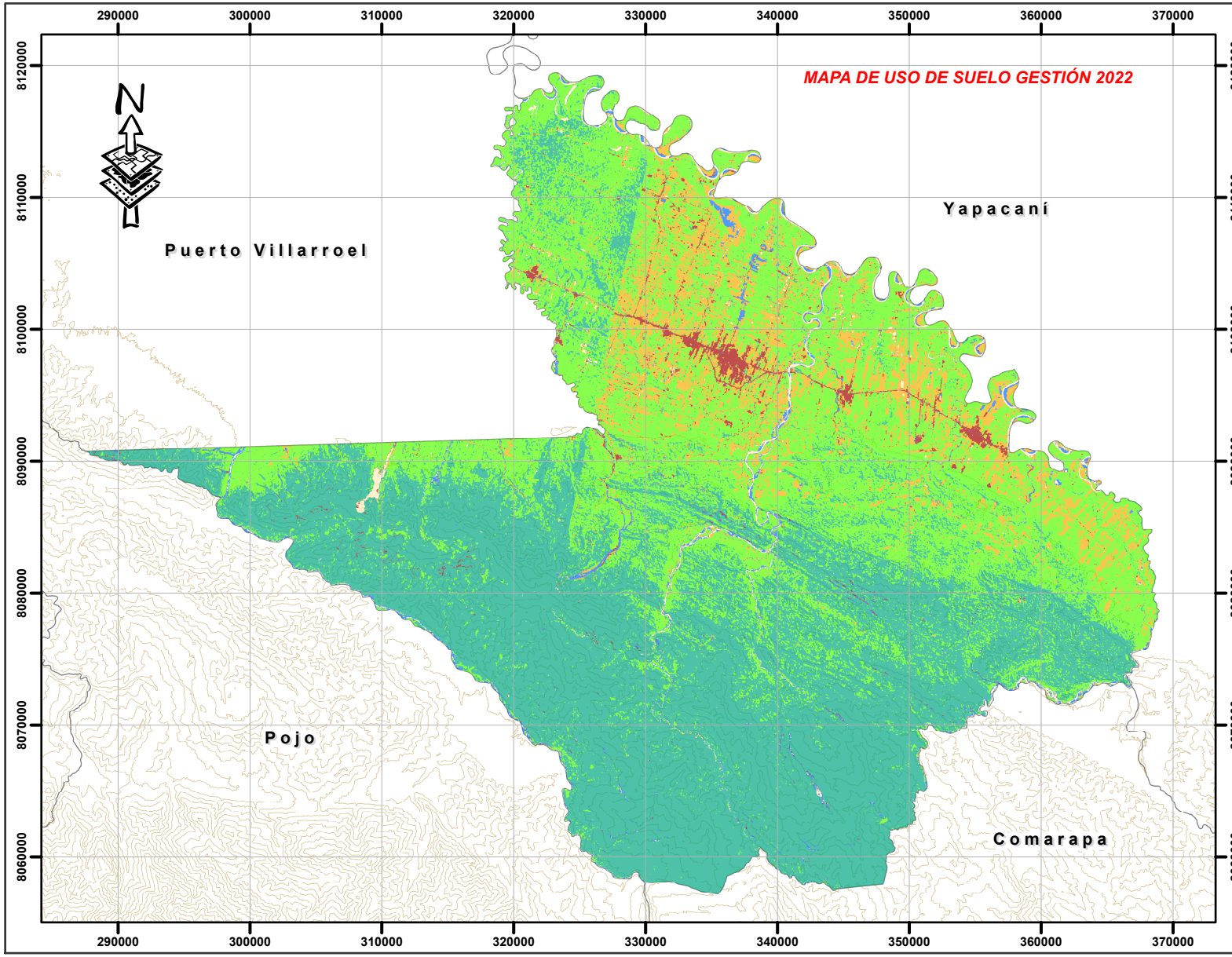
DESCRIPCIÓN :
MAPA DE USO DE SUELO GESTIÓN 2021

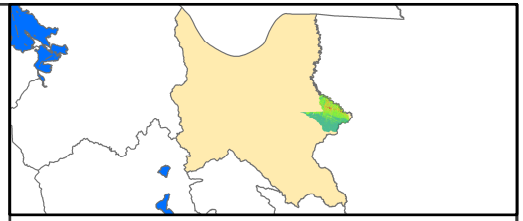
TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS

FECHA: 6-11-2023

ESCALA: 1:450 000

5
6





PLANO DE UBICACIÓN **ESC.** 1:12 500 000

LEYENDA

- BOSQUE YUNGUEÑO
- ZONA URBANA
- SUELO DESNUDO
- USO AGROPECUARIO
- CUERPOS DE AGUA
- BOSQUE AMAZONICO
- CURVAS CADA 200

Cod	2022 Sup. km²
UA	233.87
ZU	33.89
CA	28.46
BY	1070.74
SD	29.29
BA	800.77
TOTAL	2197.03

MATRIZ DE COINCIDENCIA GESTION 2022

RASTER-VALU	BY	ZU	CA	UA	SD	BA	TOTAL	PRECISION
BOSQUE YUNGUEÑO	93	0	0	0	0	1	94	98.94%
ZONA URBANA	0	90	2	0	5	0	97	92.78%
CUERPOS DE AGUA	0	0	125	0	0	0	125	100.00%
USO AGROPECUARIO	1	6	0	114	0	3	124	91.94%
SUELO DESNUDO	0	4	3	0	95	0	102	93.14%
BOSQUE AMAZONICO	6	0	0	16	0	96	118	81.36%
RESULTADOS	100	100	130	130	100	100	660	92.88%

SISTEMA DE COORDENADAS : UTM
ELIPSOIDE DE REFERENCIA : WGS 1984
ZONA : 20 SUR

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR (UASB)
(SEDE - CENTRAL)

TESIS:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODOS 2013 – 2022".

POSTULANTE:
CRISTIAN RODRIGO DE LOS RIOS ESPADA

DESCRIPCIÓN :
MAPA DE USO DE SUELO GESTIÓN 2022

TUTOR:
MSc.ING. MIGUEL GUAMAN VARGAS

FECHA: 6-11-2023

ESCALA: 1:450 000

6
6