



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**



**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA FORESTAL Y  
GESTIÓN AMBIENTAL  
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL Y DEL MEDIO AMBIENTE.**

**TITULO.**

---

**“Resiliencia de la cobertura vegetal post incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación – Distrito de Chulucanas – Departamento de Piura, 2019”**

---

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**PRESENTADO POR:**

-----  
**Br. Antoni David Jimenez Dios  
Ejecutor**

-----  
**Br. Arbildo García Núñez  
Ejecutor**

**TUMBES – PERÚ  
2020**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**



**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA FORESTAL Y  
GESTIÓN AMBIENTAL  
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL Y DEL MEDIO AMBIENTE.**

**TITULO.**

---

**“Resiliencia de la cobertura vegetal post incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación – Distrito de Chulucanas – Departamento de Piura, 2019”**

---

**Tesis aprobada en forma y estilo por:**

-----  
**M Sc. Luis Alberto Bermejo Requena  
PRESIDENTE**

-----  
**M Sc. Eber Leopoldo Herrera Palacios  
SECRETARIO**

-----  
**M Sc. Félix Enrique Alcocer Torres  
VOCAL**

**TUMBES – PERÚ  
2020**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**



**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA FORESTAL Y  
GESTIÓN AMBIENTAL  
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL Y DEL MEDIO  
AMBIENTE.**

**TITULO.**

---

**“Resiliencia de la cobertura vegetal post incendio forestal aplicando  
índices espectrales de vegetación – Distrito de Chulucanas –  
Departamento de Piura, 2019”**

---

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y DEL MEDIO  
AMBIENTE**

**REVISADO POR:**

**Dr. Miguel Antonio Puescas Chully  
ASESOR**

**Dr. Eber Gines Tafur  
COASESOR**

**Ing. Manuel Llanos Aguilar  
COASESOR**

**TUMBES – PERÚ  
2020**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA  
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE  
CAMPUS UNIVERSITARIO S/N "LA CRUZ"  
SECRETARIA ACADEMICA  
TUMBES - PERU



### ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS


En Tumbes, a los 18 día (s) del mes de mayo de dos mil veinte, se reunieron de manera virtual en la plataforma Zoom, los integrantes del jurado designados, según Resolución N° 065-2019/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D (11-07-2019) y Resolución N° 092-2019/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D (09-09-2019) donde se aprueba el Proyecto de Tesis y ratifica el jurado; con el objeto de evaluar la sustentación de la tesis denominada: **Resiliencia de la cobertura vegetal post incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación, distrito de Chulucanas, departamento de Piura, 2019**, para optar el Título de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente. **Cuyo Asesor de la mencionada tesis es el Dr. Miguel Antonio Puestas Chully.**


A las **doce** horas con **treinta** minutos y, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el presidente del jurado dio por iniciado el acto.

Luego de la exposición del trabajo, la formulación de preguntas y la deliberación del jurado lo declararon **Aprobado por Unanimidad** con el calificativo de **Bueno**

Por lo tanto los Bachilleres: **GARCIA NUÑEZ ARBILDO** y **JIMENEZ DIOS ANTONI DAVID**, quedan aptos para que el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Tumbes, le expida el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente de conformidad con lo estipulado en el Artículo 90 del Estatuto de la Universidad Nacional de Tumbes y a lo normado en el Reglamento de Grados y Títulos.

Siendo las **catorce** horas con **diez** minutos, el presidente del jurado dió por concluido el presente acto académico y para mayor constancia de lo actuado firman en señal de conformidad todos los integrantes de este jurado, presentes en el acto de sustentación

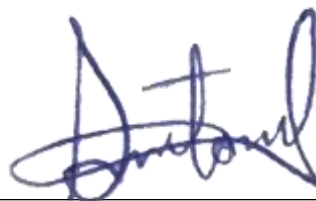
  
Mg. Luis A. Bermejo Requena  
Presidente

  
Mg. Eber L. Herrera Palacios  
Secretario

  
Mg. FELIX ENRIQUE ALCOSER TORRES  
Vocal

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Antoni David Jimenez Dios, declaro que los resultados reportados en esta tesis, son producto de mi trabajo con el apoyo permitido de terceros en cuanto a su concepción y análisis. Asimismo, declaro que hasta donde yo sé no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona excepto donde se reconoce como tal a través de citas y con propósitos exclusivos de ilustración o comparación. En este sentido, afirmo que cualquier información presentada sin citar a un tercero es de mi propia autoría. Declaro, finalmente, que la redacción de esta tesis es producto de mi propio trabajo con la dirección y apoyo de mis asesores de tesis y mi jurado calificador, en cuanto a la concepción y al estilo de la presentación o a la expresión escrita.

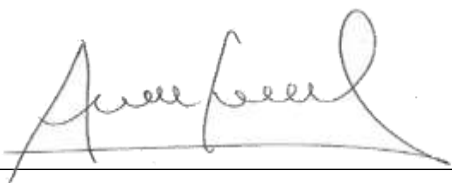


---

Br. Antoni David Jimenez Dios

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Antoni David Jimenez Dios, declaro que los resultados reportados en esta tesis, son producto de mi trabajo con el apoyo permitido de terceros en cuanto a su concepción y análisis. Asimismo, declaro que hasta donde yo sé no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona excepto donde se reconoce como tal a través de citas y con propósitos exclusivos de ilustración o comparación. En este sentido, afirmo que cualquier información presentada sin citar a un tercero es de mi propia autoría. Declaro, finalmente, que la redacción de esta tesis es producto de mi propio trabajo con la dirección y apoyo de mis asesores de tesis y mi jurado calificador, en cuanto a la concepción y al estilo de la presentación o a la expresión escrita.



---

Br. Arbildo García Núñez

## **DEDICATORIA**

Esta investigación en primer lugar es dedicada a Dios y a nuestros padres por el apoyo constante, motivación y esfuerzo en nuestra carrera profesional. A nuestros asesores por el apoyo incondicional para realizar esta tesis de investigación.

## **Agradecimiento**

A Dios por darnos la vida y brindarnos la fortaleza, tenacidad y persistencia para cumplir nuestros sueños anhelados.

A nuestros padres y familiares en general por el apoyo constante en nuestra formación profesional y estando con nosotros en los buenos y malos momentos.

A nuestros asesores Dr. Miguel Puescas Chully, Dr. Eber Gines Tafur e Ing. Manuel Llanos Aguilar por su constante apoyo y asesoramiento en nuestro proyecto de tesis.

Agradecemos a Asociación para la Investigación y desarrollo integral (AIDER) por el apoyo constante para permitirnos realizar nuestra tesis de investigación

A la comunidad campesina José Ignacio Távara Pasapera por darnos la autorización y acompañamiento para hacer posible esta investigación.



## RESUMEN

En la presente investigación tuvo como objetivo determinar la resiliencia de la cobertura vegetal post incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el Distrito de Chulucanas, Departamento de Piura, 2019. Descargamos imágenes satelitales SENTINEL – 2 del sensor MSI, dichas imágenes corresponden de agosto 2017 hasta diciembre 2019. Utilizamos el software QGIS 3.6 para el pre procesamiento y procesamiento de las imágenes satelitales donde obtuvimos los índices espectrales NDVI, SAVI y NBRI, con los valores promedios mensuales generamos las tendencias de reflectancia de la vegetación del área afectada y testigo, los meses que no hemos obtenido imágenes se estimó a partir de media móvil, así mismo se analizó el registro de precipitaciones de la estación meteorológica de “CHULUCANAS” con el propósito de relacionarlo con la reflectancia de la vegetación. Se instaló unidades de muestreo de 0.5 ha en ambas zonas de estudio para determinar su composición florística en diferentes estratos.

Los resultados muestran similitud en el comportamiento de las tendencias del NDVI, SAVI y NBRI en el área afectada, sus valores tienden a elevarse por el aumento de la biomasa vegetal causada por las precipitaciones. Al compararse las tendencias de ambas zonas de estudio se obtiene semejanza en sus valores en un periodo menor a 2 años demostrando una rápida recuperación de su cobertura vegetal.

La composición florística del área afectada por el incendio forestal presenta similitud con el área testigo en abundancia (354.00 individuos y 468.00 individuos), densidad poblacional (51.00 id/ha y 67.00 ind/ ha) y cobertura (7,016.76 m<sup>2</sup> y 8795.95 m<sup>2</sup>), estos resultados sustentan la similitud en tendencias de ambas zonas de estudio.

Palabras clave: resiliencia, incendio forestal, índices espectrales, imágenes satelitales, reflectancia, composición florística

## ABSTRACT

In the present investigation, the objective was to determine the resilience of the vegetation cover after forest fire, applying spectral indices of vegetation in the Chulucanas District, Department of Piura, 2019. We downloaded SENTINEL-2 satellite images from the MSI sensor, these images correspond to August 2017 until December 2019. We use the QGIS 3.6 software for the pre-processing and processing of satellite images where we obtained the NDVI, SAVI and NBRI spectral indices, with the monthly average values we generate the reflectance trends of the vegetation of the affected and control area, the months that we have not obtained images was estimated from the moving average, and the rainfall record of the "CHULUCANAS" meteorological station was also analyzed in order to relate it to the reflectance of the vegetation. Sampling units of 0.5 ha were installed in both study areas to determine their floristic composition in different strata.

The results show similarity in the behavior of the NDVI, SAVI and NBRI trends in the affected area, their values tend to rise due to the increase in plant biomass caused by rainfall. When comparing the trends of both study areas, similarity in their values is obtained in a period of less than 2 years, demonstrating a rapid recovery of their vegetation cover.

The floristic composition of the area affected by the forest fire shows similarity with the abundant control area (354.00 individuals and 468.00 individuals), population density (51.00 id / ha and 67.00 ind / ha) and coverage (7,016.76 m<sup>2</sup> and 8795.95 m<sup>2</sup>), these Results support the similarity in trends of both study areas.

Key words: resilience, forest fire, spectral indices, satellite images, reflectance, floristic composition

## INDICE

INTRODUCCIÓN.....	17
CAPITULO I.....	18
1. REVISIÓN DE LITERATURA .....	18
1.1. ANTECEDENTES .....	18
1.2. BASES TEORICO – CIENTIFICO.....	21
1.2.1. Fundamentos de la Teledetección.....	21
1.2.2. Índices de vegetación .....	25
1.2.3. Aspectos técnicos del satélite Sentinel – 2.....	29
1.2.4. Aspectos técnicos del sensor MSI .....	29
1.2.5. Restauración ecológica.....	31
1.2.6. Serie de tiempo .....	32
1.2.7. Incendios forestales .....	32
1.2.8. Inventario forestal .....	35
1.3. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS.....	36
CAPITULO II.....	39
2. MATERIALES MÉTODOS.....	39
2.1. LOCALIDAD Y PERIODO DE EJECUCIÓN.....	39
2.1.1. Ubicación Política .....	39
2.1.2. Localización del área de estudio.....	40
2.1.3. Cobertura vegetal del area de estudio.....	41
a. Fisiografía.....	42
b. Clima y Meteorología.....	42
c. Hidrología .....	42
d. Flora y Fauna.....	43
e. Principales actividades económicas.....	43
2.2. MATERIALES Y EQUIPOS.....	44
2.2.1. Materiales .....	44
2.2.2. Archivos.....	44
2.2.3. Equipos .....	44
2.2.4. Software.....	44
2.3. METODOLOGÍA.....	44
2.3.1. Obtención de datos de precipitación.....	44
2.3.2. Selección de imágenes satelitales SENTINEL- 2 .....	45

2.3.3.	Obtención de imágenes satelitales SETINEL - 2.....	45
2.3.4.	Pre procesamiento de imágenes satelitales .....	48
2.3.5.	Procesamiento de imágenes satelitales.....	48
2.3.6.	Comportamiento de los valores de los índices espectrales.....	54
2.3.7.	Instalación de unidades de muestreo.....	55
2.3.5.	Registro de variables .....	57
2.3.6.	Estimación de parámetros.....	58
<b>CAPITULO III.....</b>		<b>60</b>
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>60</b>
<b>3.1.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>60</b>
3.1.1.	Análisis multitemporal de la cobertura vegetal pre y post incendio forestal.60	
a.	Tendencia del índice de vegetación NDVI, área post incendio forestal. ....	62
b.	Tendencia del índice de vegetación SAVI, área afectada post incendio forestal. ....	63
c.	Tendencia del índice de vegetación NBRI, área afectada post incendio forestal. ....	64
d.	Comparación entre índices de vegetación en la dinámica de la cobertura vegetal, área post incendio forestal .....	65
3.1.2.	Restauración natural del área afectada por el incendio forestal.....	66
a.	Tendencia y comparación de la dinámica de cobertura vegetal a través del NDVI, área post incendio forestal y testigo.....	69
d.	Relación de las precipitaciones con la dinámica de la cobertura vegetal área post incendio y testigo.....	72
3.1.3.	Composición especies forestales.....	73
a.	Abundancia absoluta y abundancia relativa.....	75
b.	Densidad de especies .....	77
c.	Cobertura.....	80
<b>3.2.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>82</b>
<b>CAPITULO IV .....</b>		<b>84</b>
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>84</b>
4.1.	CONCLUSIONES.....	84
4.2.	RECOMENDACIONES .....	85
<b>5.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>85</b>

## INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1. Actividad fotosintética según NDVI .....	27
Cuadro N° 2. Clasificación de vegetación a través del SAVI .....	28
Cuadro N° 3. Clasificación de severidad de incendio NBRI .....	28
Cuadro N° 4: Descripción de las características espectrales y espaciales de las bandas Sentinel - 2 .....	30
Cuadro N° 5. Información de la Estación Meteorológica de Chulucanas .....	45
Cuadro N° 6. Productos SENTINEL seleccionados.....	47
Cuadro N° 7. Estratos poblacionales por ecozona. ....	55
Cuadro N° 8: Valores promedios de los índices de vegetación y media móvil, zona de estudio.....	60
Cuadro N° 9. Valores promedios de los índices de vegetación y media móvil, área post incendio forestal y testigo.....	67
Cuadro N°10. Especies forestales registradas en la zona de estudio - Km 34, CC. José Ignacio Távara Pasapera.....	74
Cuadro N° 11. Abundancia absoluta y relativa de especies forestales registradas en el área del incendio forestal. ....	75
Cuadro N° 12. Abundancia absoluta y relativa de especies forestales .....	76
Cuadro N° 13. Densidad absoluta y relativa de las especies forestales registradas en el área afectada por el incendio forestal .....	78
Cuadro N° 14. Densidad absoluta y relativa de las especies .....	79
Cuadro N° 15. Cobertura y cobertura relativa de las especies forestales .....	80
Cuadro N° 16. Cobertura y cobertura relativa de las especies .....	81

## INDICE DE FIGURAS

Figura N°1. Componentes de la teledetección .....	22
Figura N°2. Radiación electromagnética de la tierra. ....	23
Figura N° 3. Firma espectral de los componentes de la tierra .....	23
Figura 4. Reflectancia de la cubierta vegetal.....	24
Figura 5. Reflectancia del agua. ....	24
Figura 6. Reflectancia de la atmosfera .....	25
Figura N° 7. Satélite Sentinel- 2.....	29
Figura N° 8. Partes de un incendio forestal .....	33
Figura N° 9. Ubicación política zona de estudio RGB Sentinel -2 (2017/09/08) .....	39
Figura N° 10. Comunidad Campesina José Ignacio Távara Pasapera.....	40
Figura N° 11. Cobertura vegetal de la zona de estudio.....	41
Figura N°12. Imagen Sentinel 2 con alto porcentaje de nubosidad (18/11/2018) ..	46
Figura N° 13. Adquisición de imágenes Sentinel-2 a través de la página oficial de Copernicus.....	47
Figura N° 14. Corrección atmosférica a través de Qgis 3.6 .....	48
Figura N° 15. Vectorización del área afectada por el incendio forestal utilizando Qgis 3.6 .....	49

Figura N° 16. Obtención de NDVI, utilizando Qgis 3.6.....	50
Figura N° 17. Obtención del SAVI, utilizando Qgis 3.6.....	51
Figura N° 18. Obtención del NBRI, utilizando Qgis 3.6 .....	52
Figura N° 19. Recorte de imagen satelital, Qgis 3.6.....	53
Figura N° 20. Valores promedios del pixel, en una imagen procesada .....	54
Figura N° 21. Configuración de la unidad de muestreo .....	56
Figura N° 22. Diagrama de flujo de los procesos empleados .....	59
Figura N° 23. Especie forestal overall en regeneración natural después del incendio forestal.....	74
Figura N° 24. Especie forestal sapote afectado por el incendio forestal .....	74
Figura N° 25. Especie forestal faique rastrero afectado por el incendio forestal	74

## INDICE DE GRAFICOS

Gráfico N° 1. Tendencia de la dinámica de cobertura vegetal del índice NDVI y media móvil, área post incendio forestal .....	62
<b>Gráfico N° 2. Tendencia de la dinámica de cobertura vegetal del índice SAVI y media móvil, área post incendio forestal.....</b>	<b>63</b>
<b>Gráfico N° 3. Tendencia de la dinámica de cobertura vegetal del índice NBRI y media móvil, área post incendio forestal.....</b>	<b>64</b>
<b>Gráfico N° 4. Tendencias de la dinámica de cobertura vegetal de los índices de vegetación y media móvil, área post incendio forestal .....</b>	<b>66</b>
<b>Gráfico N° 5. Tendencia de la dinámica de la cobertura vegetal a través del NDVI y media móvil, área post incendio forestal .....</b>	<b>70</b>
<b>Gráfico N° 6. Tendencias de la dinámica de la cobertura vegetal a través del SAVI y media móvil, área post incendio forestal y testigo .....</b>	<b>71</b>
<b>Gráfico N° 7. Tendencias de la dinámica de la cobertura vegetal a través de NBRI y media móvil, área post incendio forestal y testigo .....</b>	<b>72</b>
<b>Gráfico N° 8. Tendencia de precipitaciones registradas desde agosto 2017 hasta diciembre 2019, estación meteorológica "Chulucanas" .....</b>	<b>73</b>
<b>Gráfico N° 9. Abundancia absoluta y relativa de especies forestales área afectada por el incendio forestal.....</b>	<b>76</b>
<b>Gráfico N° 10. Abundancia absoluta y relativa de especies forestales del área testigo.....</b>	<b>77</b>
<b>Gráfico N° 11. Densidad y densidad relativa de especies forestales en el área afectada por el incendio forestal.....</b>	<b>78</b>
<b>Gráfico N° 12. Densidad y densidad relativa de las especies forestales en el área testigo.....</b>	<b>79</b>
<b>Gráfico N° 13. Cobertura y cobertura relativa de especies forestales registradas en el área afectada por el incendio forestal .....</b>	<b>80</b>
<b>Gráfico N° 14. Cobertura y cobertura relativa de especies forestales en el área testigo.....</b>	<b>81</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 01. Mapas del análisis temporal en el área de incendio forestal, índice de vegetación NDVI, SAVI y NBRI.....	92
ANEXO 02. Mapas del análisis temporal en el área testigo, índice de vegetación NDVI, SAVI y NBRI.....	104
ANEXO 03. Ficha para recolección de información en brinzales.....	116
ANEXO 04. Ficha para recolección de información en latizales.....	117
ANEXO 05. Ficha para recolección de información en fustales.....	118
ANEXO 06. Ficha para recolección de información en fustales.....	119
ANEXO 07. Datos históricos climáticos. Estación meteorológica “CHULUCANAS” ..	120
ANEXO 08. Cobertura vegetal afectada por el incendio forestal (26 /10 / 2017) .....	121
ANEXO 09. Cobertura vegetal afectada por el incendio forestal (09 /08 / 2019) .....	122
ANEXO 10. Recorrido del área afectada por el incendio forestal (10 /12 / 2019) .....	123
ANEXO 11. Medición de parámetros dasométricos.....	124
ANEXO 13. Fichas de evaluación completas.....	125

## **ABREVIATURAS**

ARVI: Índice de Vegetación Resistente a la Atmósfera

ESA: Agencia Espacial Europea

ETM+: El Mapeador Temático Mejorado Plus

EVI: Índice de Vegetación Mejorado

GI: Índice de Verdor

MSI: Instrumento Multiespectral

NASA: La Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio

NBRI: Índice Relación de Quemado Normalizado

NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

NDWI: Índice de Agua de Diferencia Normalizada

RVI: Índice de Vegetación de Proporción

SAVI: Índice de Vegetación Ajustado al Suelo

SMOS: Humedad del Suelo y Salinidad del Océano

SR: Índice de Relación Simple

SWIR: Infrarrojo de Longitud de onda corta

VNIR; Visible y el infrarrojo cercano



## INTRODUCCIÓN

El Perú presenta grandes áreas degradadas relacionándose con el crecimiento de las actividades socioeconómicas, en el 2011 se reportaron 26 casos de incendios forestales siendo el reporte atendidos a gran magnitud representando el 25 % de todos los incendios ocurridos. (Sabuco, 2013)

Los bosques secos del norte peruano se extienden desde Tumbes hasta La Libertad, siendo Piura el departamento con mayor extensión con una superficie de 3´ 640,348 has, siendo 2´165,820,41 has de producción forestal. (Kometer, 2012)

Se incrementa el riesgo de incendios forestales como consecuencia de la acumulación de materiales combustible después del evento del niño, dichos materiales son propensos a arder, los incendios forestales en la parte media de Piura generalmente son ocasionados por los campesinos al quemar los rastrojos de sus cultivos provocando incendios incontrolables. (ITTO, 2006, como se citó en Kometer, 2012)

Los incendios forestales en Piura ocurren mayormente por las diferentes actividades antrópicas de los pobladores, poniendo en riesgo la sostenibilidad de este ecosistema frágil, destruyen la flora y fauna, degradan los suelos y generan daños económicos a la población local.

En el año 2017 se registraron 25 incendios, afectando 11, 750 has de bosque seco, principalmente en la provincia de Morropón. (SERFOR, 2018)

Actualmente los incendios forestales son una de las principales causas de la degradación de los bosques secos del departamento de Piura, con efectos destructivos al ambiente, problemas sociales y daños en las actividades productivas de la población rural.

Por esta coyuntura se desarrolló esta tesis de investigación teniendo como objetivo general determinar la resiliencia de la cobertura vegetal post incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Chulucanas, utilizando imágenes satelitales ópticas del satélite Sentinel- 2 para poder evaluar el comportamiento de la vegetación en el tiempo.

# CAPITULO I

## 1. REVISIÓN DE LITERATURA

### 1.1.ANTECEDENTES

A continuación, describimos estudios donde han utilizado imágenes satelitales para analizar la evolución multitemporal de la cobertura vegetal después de un incendio forestal aplicando diversos índices de vegetación:

- (Ariza, 2017), analizó los cambios en la estructura del paisaje como consecuencia de incendios forestales en Riba de Saelices (Guadalajara) y el pantano de San Juan (Madrid), mediante el uso de imágenes satelitales Landsat, aplicando índices espectrales NDVI y NBRI. Resultando el análisis multitemporal de la estructura del paisaje en relación con la severidad del incendio.
- (Beltrán, 2017), evaluó el éxito de restauración en el Parque Forestal Embalse Nashua del departamento de Cundimarca por medio de índices de vegetación (NDVI, SR, RVI, GI y SAVI), utilizando imágenes satelitales de los sensores Landsat – 8 y Sentinel – 2 en los años 2014 a 2017. Resultando que NDVI generaliza la superficie con cobertura vegetal y solo distingue las zonas de suelo desnudo, el GI y SR identifica la variación de superficies vegetales.
- (Guerrero & Campos, 2017) en su investigación de tesis de pregrado de la Universidad Nacional de Tumbes, evaluó la evolución de la cobertura vegetal a través del índice de vegetación NDVI en el periodo de 2000 hasta 2015, en el Parque Nacional Cerros de Amotape y Reserva Nacional de Tumbes utilizando imágenes del satélite Landsat 7 y 8 , donde clasificaron cuatro tipos de cobertura vegetal, resultando tendencias positivas en la Reserva Nacional de Tumbes y tendencias ligeramente negativas en el Parque Nacional Cerros de Amotape, todos estos cambios tiene relación directa con las precipitaciones.

- (Caraveo, 2013) obtuvieron la severidad de un incendio en el Municipio de Ocampo, Coahuila, México, donde estimaron valores de NDVI entre agosto a octubre del año 2011, para analizar el comportamiento del NDVI en las áreas afectadas, llegando a la conclusión que la zona del incendio se recupera después del incendio, cual duro muy poco por la estación del otoño.
- (Carvacho & Sánchez, 2010), utilizó en su investigación diferentes índices espectrales de vegetación (NDVI, SAVI, ARVI, GrennNDVI y EVI) aplicados en la imagen satelital del sensor MODIS en la Región del Libertador General Bernardo O´ Higgins, determinaron las características y comportamientos según cobertura vegetal distinta, agrícola, forestal, etc. Los resultados indican que existen diferencias entre índices espectrales de acuerdo a las necesidades de la investigación.
- (Culquicondor, 2010), determinaron la estructura y composición de las especies leñosas del bosque seco aledaño al “Santuario Regional del manglar de San Pedro, Vice”, obteniendo resultados de densidad 58.50 ind/ha de ***Prosopis pallida*** y ***Colicodendron sacabridum*** 11.25 ind/ha. La cobertura vegetal tiene un área que representa el 7.27 % y el 92.73 % si cobertura vegetal.
- (Navarro, Olave, Hayas, & Castillo, 2015), utilizaron imágenes satelitales de sensores remotos (Landsat, ETM + y ASTER), para evaluar la restauración natural de grandes áreas afectadas por incendios forestales, esta investigación se realizó en el Parque Nacional de Torres del Paine – Chile, la metodología que se aplico ha demostrado la utilidad y versatilidad de las imágenes satelitales y el índice NBR, utilizado como instrumento de apoyo para proponer acciones o medidas de restauración.
- (Navarro, et al, 2017), realizaron una evaluación utilizando índices espectrales como diferencia normalizada Índice de Vegetación (NDVI), Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Verde (GNDVI), Relación de Quemadura Normalizada (NBR) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI<sub>reXn</sub>), para evaluar la gravedad del incendio en Madeira a

través de imágenes satelitales del sensor Sentinel-2. Los resultados obtenidos mostraron una alta correlación de los índices espectrales y que la imagen satelital Sentinel-2 es una herramienta muy valiosa para el monitoreo posterior de un incendio.

- (Martínez, Chuvieco, Aguado, & Salas, 2017) el propósito de este estudio es comprender los patrones de regeneración natural post incendio forestal, así mismo estudiar el tiempo que tarda un ecosistema forestal en recuperar su estado inicial, el estudio se realizó en Uncastillo de 1994 (España), evaluaron su dinámica de regeneración mediante el empleo de series de tiempo utilizando imágenes Landsat. Los resultados de este estudio contribuyeron a la comprensión de la dinámica de la regeneración natural post incendio forestal.
- (Peña & Ulloa, 2017) analizaron la recuperación natural de la vegetación en el Parque Nacional Torres de Paine, utilizaron el índice espectral NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) para calcular y comparar el área afectado desde diciembre 2011 y marzo 2012 a través de 24 imágenes satelitales Landsat adquiridas antes y después del incendio, logrando apreciar la variación temporal de los niveles de biomasa de la zona afectada. Aplicaron también los índices NDVI, NBR (Normalized Burnt Ratio) y NDWI (Normalized Difference Water Index), permitió mapear el estado de la cobertura vegetal del área afectada.
- (Rivera, Mattar, & Durán-Alarcón, 2017), En su estudio utilizó imágenes satelitales del sensor MODIS, mapas de cobertura de superficie Global Land Cover Maps del ESA/CCI del año 2005 y 2010 y el mapa de cobertura de suelo de Chile y productos de "Soil Moisture and Ocean Salinity" (SMOS), para analizar los cambios de la vegetación afectada por el incendio forestal entre los años 2011 y 2012 en el Parque Nacional Torres de Paine, se aplicó el índice de vegetación "Normalized Difference Vegetation Index" (NDVI) en el periodo 2002 a 2016 y el índice "Normalized Burn Ratio" (NBR) para los incendios del 2005, 2011 y 2012, resultando 30.000 ha afectadas por los incendios forestales y presentaron tendencias de crecimiento positivas.

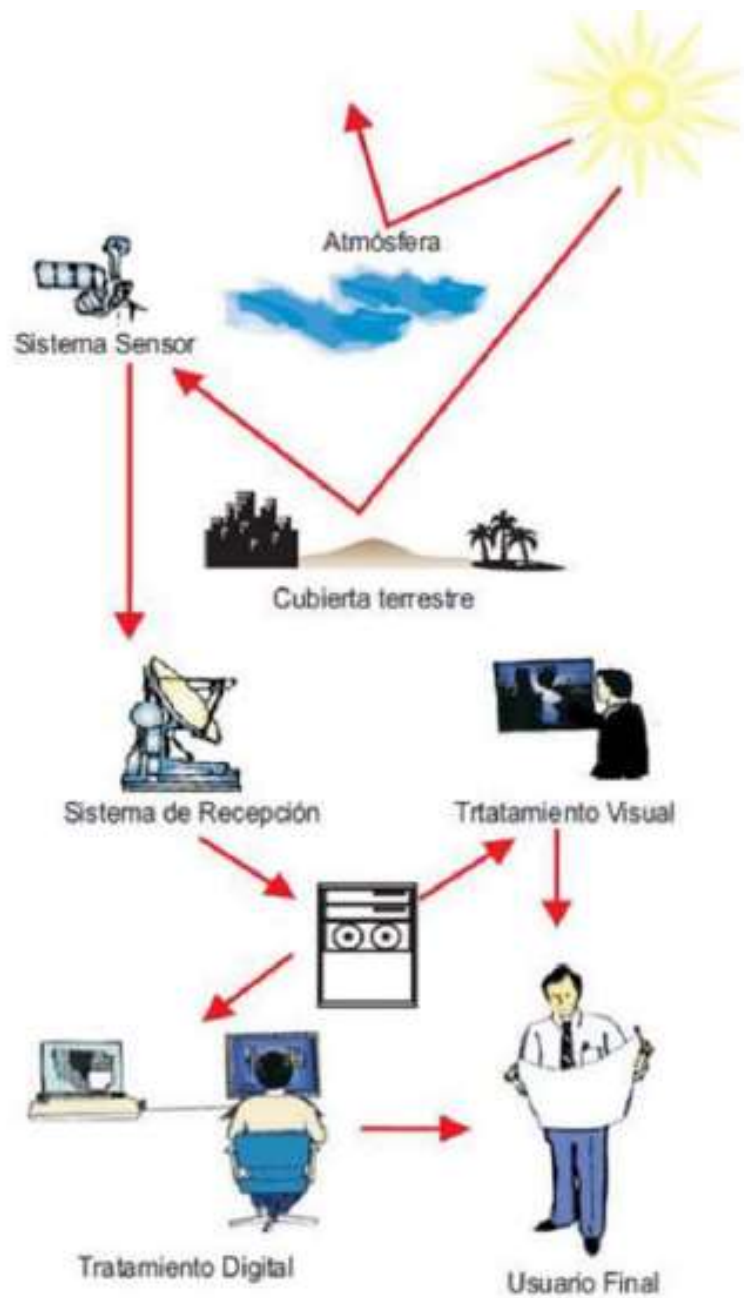
## **1.2. BASES TEORICO – CIENTIFICO**

### **1.2.1. Fundamentos de la Teledetección**

La teledetección permite adquirir información a través de imágenes satelitales de la superficie terrestre de sensores instalados en plataformas espaciales, permite detectar la señal electromagnética de la tierra y atmosfera, convirtiéndola en formato digital (imagen) o analógicos (fotografía). (Sabuco, 2013)

Teledetección, son los instrumentos aerotransportados y espaciales para observar el planeta tierra, desde las fotografías analógica aéreas hasta los instrumentos digitales espaciales, este concepto excluye totalmente el posicionamiento del satélite y los sistemas de navegación tales como escaneo laser y fotogrametría terrestre, sin embargo, estos instrumentos son importantes para el levantamiento y mediciones de campo de las muestras seleccionadas. (Koch, 2012)

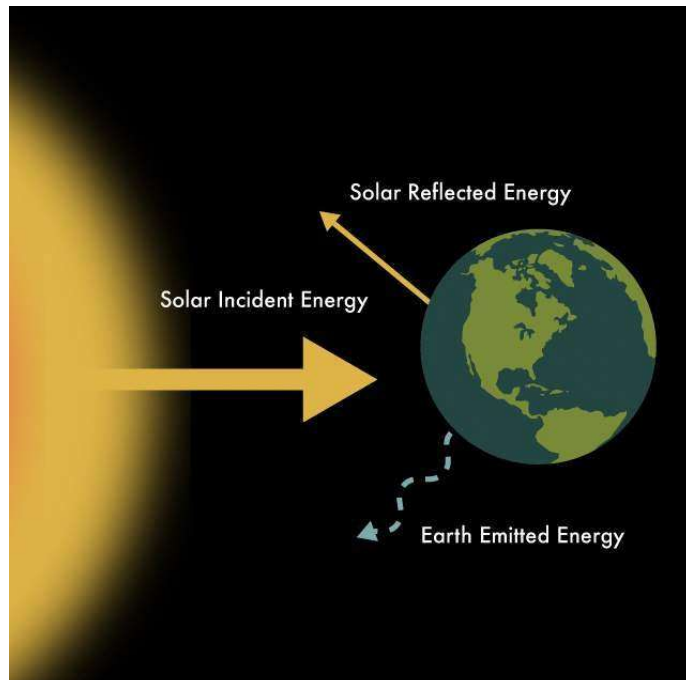
La teledetección se presenta como el camino para obtener de forma práctica y efectiva información de los incendios forestales. Teledetección significa precepción de objetos a distancia, utilizando sensores montados sobre satélites. El uso de la teledetección asociados en incendios forestales se clasifica en tres grandes grupos, (a) identificación y cuantificación de áreas quemadas, (b) estudio comparativo de la vegetación antes y después, (c) análisis de incendios de gran magnitud. (Di Bella, de los Angeles, & Mari, 2008)



**Figura N°1. Componentes de la teledetección**

Fuente: (Chuvieco, 1991)

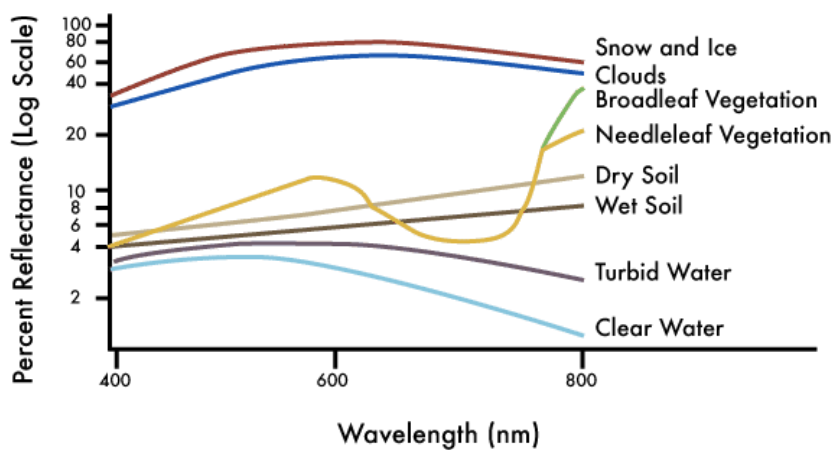
**Radiación electromagnética** es la energía que recibe la tierra del sol, siendo reflejada, absorbida y emitida por la atmosfera y la superficie terrestre. (NASA, 2020).



**Figura N°2. Radiación electromagnética de la tierra.**

Fuente: (NASA, 2020)

**Firma espectral**, las ondas de radiación electromagnética son absorbidas y reflejadas por diferentes materiales y son detectadas por un sensor y determina el tipo de material del que se refleja. (NASA, 2020)

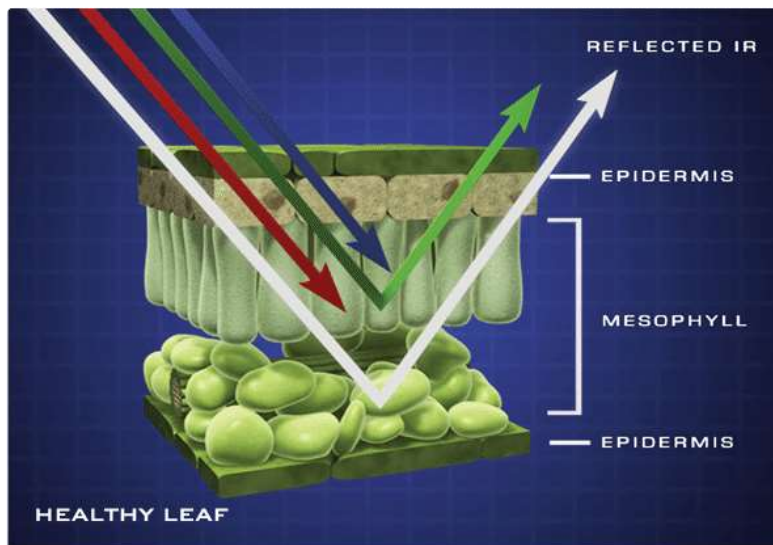


**Figura N° 3. Firma espectral de los componentes de la tierra**

Fuente: (NASA, 2020)

## Interacción con la superficie de la tierra

**Vegetación:** absorbe longitudes de onda azul y rojo y refleja el verde e infrarrojo. (NASA, 2020)



**Figura 4. Reflectancia de la cubierta vegetal**

Fuente: (NASA, 2020)

**Agua:** Las ondas visibles de longitud larga verde y roja y la radiación IR cercano son absorbidos por cuerpos de agua, excepto las longitudes de onda cortas como el azul. (NASA, 2020)

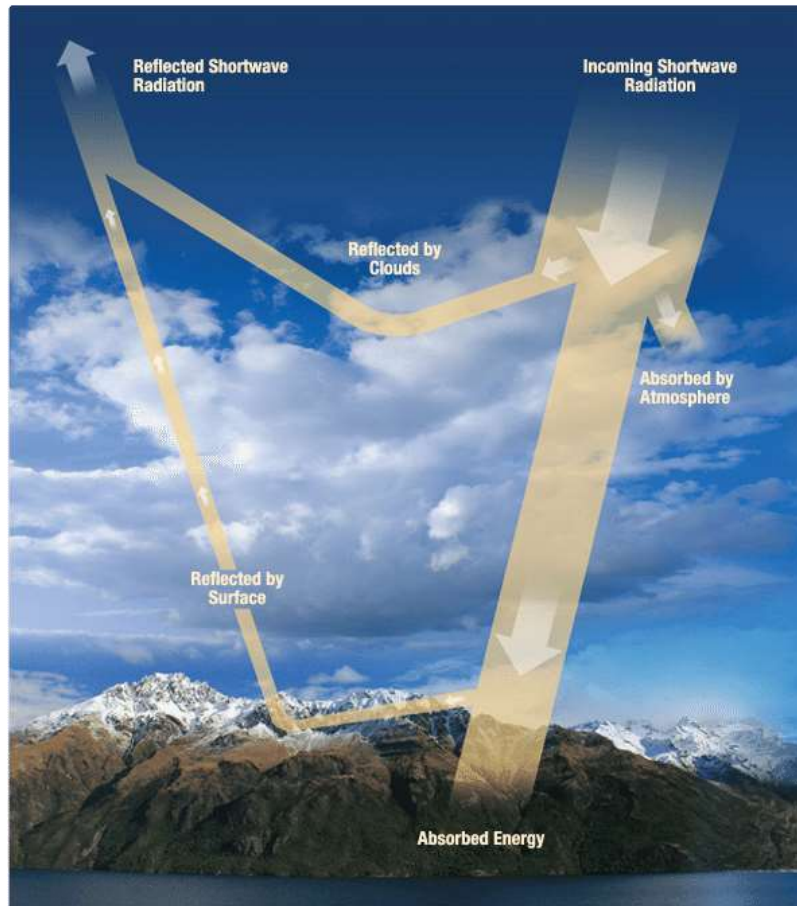


**Figura 5. Reflectancia del agua.**

Fuente: (NASA, 2020)



**Atmosfera:** El espectro de radiación interactúa con la atmosfera hace que los satélites proporcionen información sobre esta, esto incluye precipitación, nubes y partículas contaminantes del aire. (NASA, 2020)



**Figura 6. Reflectancia de la atmosfera**  
Fuente: (NASA, 2020)

### 1.2.2. Índices de vegetación

Un elemento importante de la teledetección es monitorear la cobertura vegetal. Las propiedades radiativas de la vegetación se describen en su dosel y sus otros componentes como tallos, hojas, tierra o agua. La radiación del sol golpea las hojas, las magnitudes de la reflectancia espectral, absorción espectral y transmitancia espectral dependen no de la longitud de onda, también de una gama de características químicas y estructurales como la composición de agua de la hoja. Los índices de vegetación se utilizan para poder observar la cobertura vegetal, evaluar variables biofísicas y bioquímicas de la clorofila del dosel, la mayoría de los índices de vegetación

se basan en dos principios (i) la clorofila absorbe las bandas rojas y una gran parte del azul, (ir) existe alta reflectancia en la banda infrarrojo cercano y verde. (Cai, 2019)

La signatura espectral de la vegetación sana muestra un contraste en la banda roja e infrarrojo cercano. Mientras en la región visible los pigmentos de las hojas absorben la mayor parte de la luz, en el infrarrojo cercano estas sustancias son transparentes por esta razón la vegetación sana tiene baja reflectividad en la banda roja y alta en el infrarrojo cercano. (Chuvienco, 1991).

Un índice de vegetación se define como un parámetro a partir de los valores de reflectancia a diferentes longitudes de ondas siendo sensible a la cobertura vegetal, utilizados para discriminar entre vegetación, suelo y agua, sus valores bajos usualmente indican vegetación poca vigorosa. (Muñoz, 2013)

### **Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)**

El índice de vegetación más utilizado para el procesamiento de datos satelitales en monitoreo de la vegetación es el NDVI propuestas por Tucker en 1979 como se citó en Zerda & Tiedemann, (2010). Usado para medir la diferencia normalizada entre el infrarrojo cercano y el rojo proporcionando información sobre el estado de la vegetación. (Rouse, et al., 1994, como se citó en Bravo, 2017)

Dispone de un rango entre -1 a +1, los valores negativos representan superficies de suelo desnudo y valores positivos representa cubierta vegetal en diferentes estados, esto permite establecer umbrales para la discriminación así mismo comparando imágenes. Sin embargo, es sensible a la reflectividad del suelo lo que limita su potencial en discriminar zonas de baja densidad de vegetación, la reflectividad en los pixeles de la banda roja e infrarroja vendrían determinados por la reflectividad del suelo, resultando que el índice nos muestre datos similares al suelo desnudo, (Muñoz, 2013)

**Cuadro N° 1. Actividad fotosintética según NDVI**

Actividad fotosintética	Rango NDVI
Nula	< 0
Muy baja	0 a 0.1
Baja	0.1 a 0.3
Media	0.3 a 0.5
Media -alta	0.5 a 0.6
Alta	0.6 a 0.8
Muy alta	> 0.8

Fuente: (Duncan, et al, 1993, como se citó en Navazo, Nieto, & Moreno, 2016)

### **Índice de vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)**

Diferentes índices han sido desarrollados para discriminar la vegetación, los más comunes utilizan el rojo e infrarrojo cercano. En zonas donde hay variaciones del brillo del suelo, por humedad, rugosidad, sombras y materia orgánica, existe diferencia inducida del suelo en los valores de los índices de vegetación. (Huete, 1988)

SAVI, reduce las variaciones inducidas por el suelo, aunque hubo una pérdida en la amplitud de la señal del índice de vegetación, en comparación con el NDVI, da como resultado una señal del índice de vegetación bajo. (Huete, 1988)

El NDVI está influenciado por el suelo que subyace a la vegetación para disminuir este efecto se propuso introducir un parámetro a la fórmula del NDVI, este parámetro L, ajusta la línea entre vegetación y suelo. (Chuvieco, 1991). L oscila desde 0 a 1, donde suelo de alta cobertura vegetal es igual a 0, y en cobertura intermedia oscila a 0.5, los suelos de muy baja cobertura vegetal L=1. (Manrique, 1999)

**Cuadro N° 2. Clasificación de vegetación a través del SAVI**

Clases	Rango SAVI
Agua	<0
Suelo expuesto	0.001 - 0.226
Vegetación poco densa	0.227 - 0.341
Vegetación medio densa	0.342 - 0.405
Vegetación muy densa	0.406 <

Fuente: (Alencar, Parodi, Silva, & Opazo, 2019)

### Índice de áreas quemadas NBRI

El NBRI relaciona la banda infrarroja próxima y la banda infrarroja corta, es por ello que es positivo en zonas de alta actividad fotosintética y negativo en zonas sin vegetación. (Key and Benson, 2006; como se citó en Montealegre, Lamelas, Tanase, & de la Riva, 2017)

**Cuadro N° 3. Clasificación de severidad de incendio NBRI**

Nivel	Rango NBRI
Alta severidad	<- 0.5
Media severidad	-0.5 a -0.25
Baja severidad	-0.25 a -0.1
Nula severidad	-0.1 a 0.1
Baja regeneración	0.1 a 0.27
Media regeneración	0.27 a 0.44
Alta regeneración	0.44 a 0.66
Muy alta regeneración	> 0.66

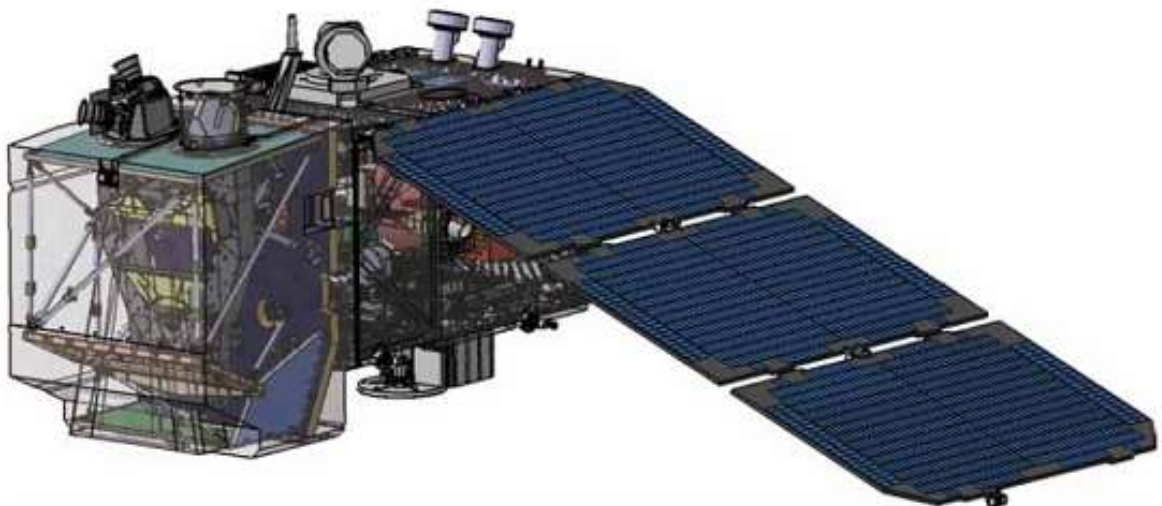
Fuente: (Lutes et al., 2006, como se citó en Navazo, Nieto, & Moreno, 2016)

### 1.2.3. Aspectos técnicos del satélite Sentinel – 2

Sentinel – 2 es una misión que provee de imágenes satelitales de alta resolución para el monitoreo del planeta tierra diseñada con 2 satélites: Sentinel – 2A y Sentinel – 2B que vuelan en la misma órbita, pero escalonados a 180° ofrecen imágenes con una frecuencia de 5 días. Sentinel – 2 ofrece 13 bandas espectrales: cuatro bandas de 10 m, seis bandas de 20 m y tres bandas de 60 m de resolución. El ancho de franja es de 290 km. (ESA, 2020)

### 1.2.4. Aspectos técnicos del sensor MSI

El instrumento multispectral (MSI), es un sensor de escoba que funciona mediante la recopilación de datos de imágenes a través de la franja orbital, utiliza el movimiento hacia delante de la nave espacial a lo largo de la trayectoria de la órbita para proporcionar nuevas filas para la adquisición. La luz reflejada por el sensor MSI desde la tierra a la atmósfera es recogida por un telescopio de tres espejos (M1, M2, y M3), enfocada a través de un haz, en dos conjuntos de plano focal: uno para los primeros 10 longitudes de onda (VNIR) y una para las tres longitudes de onda (SWIR). (ESA, 2020)



**Figura N° 7. Satélite Sentinel- 2**

Fuente: (ESA, 2020)

El instrumento espectral MSI ha sido impulsado por contener una franja de alto rendimiento espectral y geométrico, mide la reflectancia de la tierra en 13 bandas espectrales desde VNIR a SWIR, en la Tabla 1, describimos las características del sensor:

**Cuadro N° 4: Descripción de las características espectrales y espaciales de las bandas Sentinel - 2**

Bandas espectrales	Sensor	Sentinel - 2A		Sentinel - 2B		Resolución (metros)
		Longitud de onda central (nm)	Ancho de banda (nm)	Longitud de onda central (nm)	Ancho de banda (nm)	
Banda 1 - Costero /aerosol	VNIR	442.7	21	442.2	21	60
Banda 2 - Azul		492.4	66	492.1	66	10
Banda 3 - Verde		559.8	36	559.0	36	10
Banda 4 - Rojo		664.6	31	664.9	31	10
Banda 5 - Visible e Infrarrojo Cercano		704.1	15	703.8	16	20
Banda 6 - Visible e Infrarrojo Cercano		740.5	15	739.1	15	20
Banda 7 - Visible e Infrarrojo Cercano		782.8	20	779.7	20	20
Banda 8 - Visible e Infrarrojo Cercano		832.8	106	832.9	106	10
Banda 8A - Visible e Infrarrojo Cercano		864.7	21	864.0	22	20
Banda 9 - Vapor de Agua		945.1	20	943.2	21	60
Banda 10 - Cirrus	SWIR	1373.5	31	1376.9	30	60
Banda 11 - Onda Corta Infrarroja		1613.7	91	1610.4	94	20
Banda 12 - Onda Corta Infrarroja		2202.4	175	2185.7	105	20

Fuente: (ESA, 2020)

### **1.2.5. Restauración ecológica.**

Consiste en un proceso de ayuda para la recuperación de área, paisaje, ecosistema dañado o destruido con el propósito de retomar su trayectoria ecológica, mantener la biodiversidad, aumentar la resiliencia y restablecer la funcionalidad del ecosistema. (Servicio Nacional Forestal y Fauna Silvestre, 2018)

La restauración ecológica se define como el proceso de asistencia para la recuperación, rehabilitación de ecosistemas dañados, degradados o destruidos, para esta definición es fundamental ayudar a la recuperación, consiste en dos objetivos. (i) Restauración es devolver al ecosistema a su estado anterior, (ii) la gestión activa es la herramienta para lograr este retorno. (Halme, y otros, 2013)

Según Falk (1990); Allen et al.(2002), menciona que los restauracionistas intentan cambiar la estructura, composición y dinámica de un ecosistema dañado a un estado ecológico que se encuentre dentro de un límite aceptable o sea un ecosistema menos alterado y más sostenible como se citó en Palmer, Zedler, & Falk, (2016)

La variabilidad de los daños en los recursos en los tipos de ecosistemas depende del grado de severidad del incendio, luego que un ecosistema es afectado por un incendio se debe considerar dos fases: (i) rehabilitación que se debe realizar lo más pronto posible después del incendio, (ii) la segunda de mediano y largo plazo, denominada restauración. El proceso de restauración busca recuperar la composición y funcionalidad de los ecosistemas como también su resiliencia luego del incendio. (Fernández, y otros, 2010)

### **1.2.6. Serie de tiempo**

Se define como la recopilación de observaciones a través de un periodo de tiempo, una de las características para realizar una serie de tiempo es que el sensor tenga una alta resolución temporal, eso quiere decir que pase por la misma área repetidamente. (Colditz, 2007)

### **1.2.7. Incendios forestales**

Los Incendios son perturbaciones agresivas que afectan a los ecosistemas forestales, logrando modificar fuertemente su estructura y composición. Mientras más severa es la calcinación de la biomasa más severo es el impacto en la resiliencia. (Peña & Ulloa, 2017)

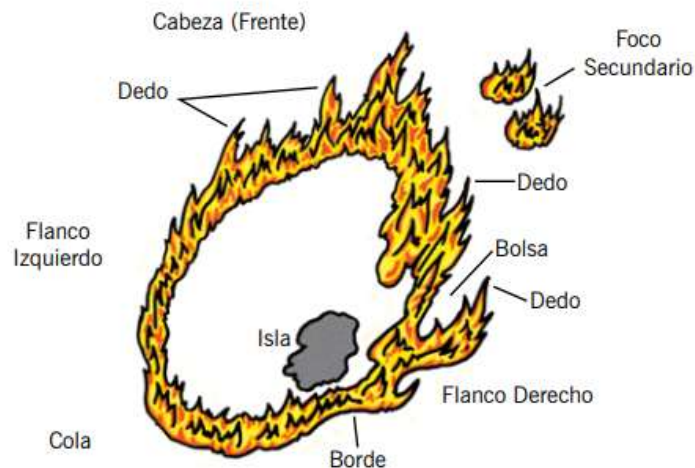
Los incendios forestales son unos de los principales disturbios que afectan a los ecosistemas terrestres y tienen terribles consecuencias en el clima global, la calidad de aire, la estructura y composición de la vegetación, devastan el almacenamiento de carbono de los bosques, ocasionan grandes daños económicos y pérdida de vida. (Khabarov, *et al*, 2016).

La severidad del fuego es considerada un factor crítico en la dinámica de superficies quemadas, teniendo relación directa con la cantidad de biomasa consumida, estableciendo que los incendios de alta severidad están vinculados con tasas de recuperación de la cobertura vegetal muy bajas y tasas de erosión más elevadas que en zonas de severidad baja. (Dooer et al., 2006, Moody, et al, 2013, como se citó en Montorio, Pérez, García, Vlassova, & De la Riva, 2014)

Los incendios forestales ocasionan pérdidas graves y cuantiosas, las consecuencias son muy negativas frente a los recursos naturales, destruyen la vegetación, elimina la fauna silvestre, afecta al suelo, contaminan aguas y el aire atmosférico. Los incendios cambian de manera parcial o total el paisaje de un bosque. La vida vegetal, animal y humana



se transforma y en cientos de años no puede recuperarse y volver a su estado inicial. Los efectos negativos de los incendios perduran años y cambian la vida de las personas que residen en las áreas afectadas. (Servicio Nacional Forestal y Fauna Silvestre, 2018)



**Figura N° 8. Partes de un incendio forestal**

Fuente: (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, 2016)

## **Tipos de incendios**

### **Incendios Superficiales**

Cuando el fuego se propaga en forma horizontal la superficie del suelo y alcanza hasta metro y medio de altura. Afectan a los combustibles vivos y muertos como pastizales, hojas, ramas, ramillas, arbustos o pequeños árboles de regeneración natural o plantación, etc. (Comisión Nacional Forestal, 2010)

### **Incendio Subterráneo**

Cuando un incendio superficial se propaga bajo el suelo. En este caso llega a quemarse la materia orgánica, las raíces, e incluso puede alcanzar los afloramientos rocosos. Generalmente éstos no producen llamas y emiten poco humo. (Comisión Nacional Forestal, 2010)

## **Incendios de Copa o Aéreos**

Estos incendios son los más destructivos, peligrosos y difíciles de controlar, debido a que el fuego consume toda la vegetación. También comienzan en forma superficial, pero en este caso, las llamas avanzan primero sobre el nivel del suelo y se propagan por continuidad vertical, es decir, escalan vegetación dispuesta hacia arriba que sirve de combustible en escalera hacia las copas de los árboles. (Comisión Nacional Forestal, 2010).

## **Efecto del fuego sobre el paisaje**

Los incendios forestales alteran severamente la estabilidad de los ecosistemas, afectando y modificando su estructura, composición, dinámica e interacciones ecológicas, factores integrados se traduce en una pérdida de funcionalidad del ecosistema de difícil recuperación (Koutsias et al., 2010, como se citó en Ariza, 2017)

El fuego transforma dramática y relativamente instantánea el paisaje. Actúa como proceso de regulación que se rige por la disponibilidad de biomasa o combustible, las propiedades del terreno y las variables meteorológicas que afectan la velocidad de ignición o propagación, como la humedad, viento y temperatura influyen en la combustión. (Ariza, 2017).

En este sentido, el análisis de la secuela del fuego presenta interés para comprender e interpretar su efecto sobre la estructura y funcionalidad de los ecosistemas, respondiendo adecuadamente con medidas correctoras sobre los efectos negativos de las zonas incendiadas (Pérez-Caballero et al., 2007, como se citó en Ariza, 2017) .

El impacto del fuego no debería medirse únicamente a través de la cantidad de biomasa perdida, sino también a través de los daños ambientales y paisajísticos sobre la cobertura, la degradación del suelo o la afección a la red de drenaje. En general, se requiere un mejor proceso de evaluación, seguimiento y gestión de los recursos forestales, con el fin de reducir las

consecuencias negativas sobre el paisaje (Roy y Dun, 2003 como se citó en Ariza, 2017)

Los efectos del fuego a largo plazo sobre el paisaje no dependen únicamente de la ocurrencia de un solo incendio, también de la secuencia de múltiples eventos a través del tiempo, lo que se conocen habitualmente con el término “régimen de incendios”. Este término hace referencia a las características y parámetros espacio temporales de los incendios que ocurren en una determinada área a lo largo de un período, permite describir estructuralmente la naturaleza física del fuego en un contexto socio ecológico (Krebs et al., 2010; Pezzatti et al., 2013, como se citó en Ariza, 2017)

#### **1.2.8. Inventario forestal**

Los inventarios son aquellos procesos donde se evalúa cuantitativa y cualitativamente diversas características de los ecosistemas forestales. (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2016)

Inventario forestal se define como el procedimiento para la obtención de información sobre el área, cantidad, calidad y crecimiento de los recursos del bosque necesario para la toma adecuada de decisiones sobre el manejo y aprovechamiento forestal. En la ejecución de un inventario forestal se incorpora técnicas y principios de otras disciplinas como cartografía, topografía, manejo personal interpretación de imágenes satelitales y técnicas de medición forestal (dasometría). (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 2002).

#### **Unidades de muestreo**

También llamado parcelas de muestreo, es un sitio demarcado y periódicamente medido con el propósito de describir cuantificar los procesos dinámicos del bosque. La medición del crecimiento permite realizar predicción del crecimiento de un árbol y del bosque esto permite establecer el grado de regeneración natural. (Nalvarte & García, 2010)

**Tipos de muestreo:**

En los inventarios el recojo de información cuantitativa y cualitativa se realiza en pequeñas áreas representativa, con el propósito de poder estimar sus valores de los parámetros evaluados. (Ministerio del Ambiente, 2015).

**Aleatorio estratificado:**

Realiza la estratificación del área a evaluar y la selección de las muestras es aleatoria o al azar. (Ministerio del Ambiente, 2015)

**Sistemático estratificado:**

Realiza la distribución de las muestras siguiendo un patrón, permite detectar variaciones en los estratos; según su patrón espacial ofrece una mejor estimación. (Ministerio del Ambiente, 2015).

### 1.3. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS

**Altura del Fuste:** se refiere a la altura desde la base hasta la primera bifurcación del árbol. (Nalvarte & García, 2010).

**Área degradada.** Superficie deteriorada por la extracción excesiva de productos maderables y/o no maderables, manejo inadecuado, incendios reiterados, pastoreo u otras perturbaciones y usos de la tierra que degeneraron el suelo y la vegetación, a tal punto que la vegetación forestal después del abandono se ve inhibida o retrasada. (Servicio Nacional Forestal y Fauna Silvestre, 2018).

**Bosque Seco:** Vegetación con diversas especies leñosas adaptados al ecosistema con régimen de humedad entre árido y subhúmedo. Se encuentre en el noroeste del Perú entre 0 a 1000 msnm. (Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre, 2018)

**Ecosistema degradado.** Ecosistema que ha sufrido alteraciones en sus componentes esenciales, tales como su estructura y funcionamiento, y

disminuye, por tanto, su capacidad de proveer bienes y servicios. (Servicio Nacional Forestal y Fauna Silvestre, 2018)

**Espectro electromagnético.** Clasificación de la energía según la longitud de onda. (Bravo, 2017).

**Fuego.** Es la reacción del producto del aire, combustible y una fuente de calor cercana, se manifestó en llamas y humo. (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, 2016).

**Grado de severidad.** Nivel de daño ocasionado por el fuego, medible a través de los cambios ecológicos que ocasiona el fuego. (Martínez, Chuvieco, Aguado, & Salas, 2017)

**Índice espectral.** Es el conjunto de operaciones algebraicas aplicadas sobre los valores numéricos de los píxeles, usando dos o más bandas de la imagen. (Muñoz, 2013).

**Índice de Relación de Quemado Normalizado (NBRI).** Estima la gravedad de los incendios, aprovecha las ondas de infrarrojo que son sensibles a los cambios de vegetación, para detectar áreas quemadas. (Bravo, 2017).

**Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).** Desarrollado por Rouse et al.,(1974). Usado para medir la diferencia normalizada entre las reflectancias de infrarrojo cercano y rojo, proporcionando medidas de vegetación, como se citó en Bravo,( 2017).

**Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI).** Desarrollado por Huete, (1988), tiene en cuenta la reflectividad del suelo aislado la información del suelo, resulta más consistente que el NDVI para estudios en zonas áridas y semiáridas, como se citó en Muñoz, (2013).

**Imágenes satelitales.** Una imagen satelital es el producto que se obtiene por un sensor instalado a bordo de un satélite artificial a través de la captación de la radiación electromagnética que es emitida o reflejada por un cuerpo; este producto se transmite posteriormente a estaciones terrestres para su visualización, procesamiento y análisis. (Bense, 2007)

**Regeneración natural:** Proceso de recuperación poblacional de las especies vegetales de un bosque mediante su propagación sexual o asexual, que se produce sin la intervención del hombre. (Servicio Nacional Forestal y Fauna Silvestre, 2018)

**Rehabilitación.** Cualquier intento por recuperar elementos estructurales o funcionales dentro de un ecosistema degradado. A diferencia de la restauración, la rehabilitación puede ayudar a restablecer algunas, pero no necesariamente todas, las especies de flora y fauna que originalmente estuvieron presentes en un ecosistema cualquiera intento por reacomodar los elementos estructurales o funcionales dentro de un ecosistema degradado. (Servicio Nacional Forestal y Fauna Silvestre, 2018)

**Resiliencia.** Capacidad de un ecosistema de retornar a sus condiciones originales o reorganizarse luego de un proceso de disturbio. (Servicio Nacional Forestal y Fauna Silvestre, 2018)

**Restauración natural:** proceso de recuperación de zonas o ecosistemas degradados o destruidos a través de acciones de planificación y manejo de recursos naturales. (Proaño & Duarte, 2018)

**Severidad del incendio.** Daño ocasionado por el fuego al ecosistema, influye en la recuperación de las plantas de forma marcada en el tiempo. (Di Bella, de los Angeles, & Mari, 2008)

**Tendencia de la cobertura vegetal.** Es la dirección o secuencias de sucesos de la cobertura vegetal, nos permite evaluar el comportamiento de la vegetación. (Guerrero & Campos, 2017).

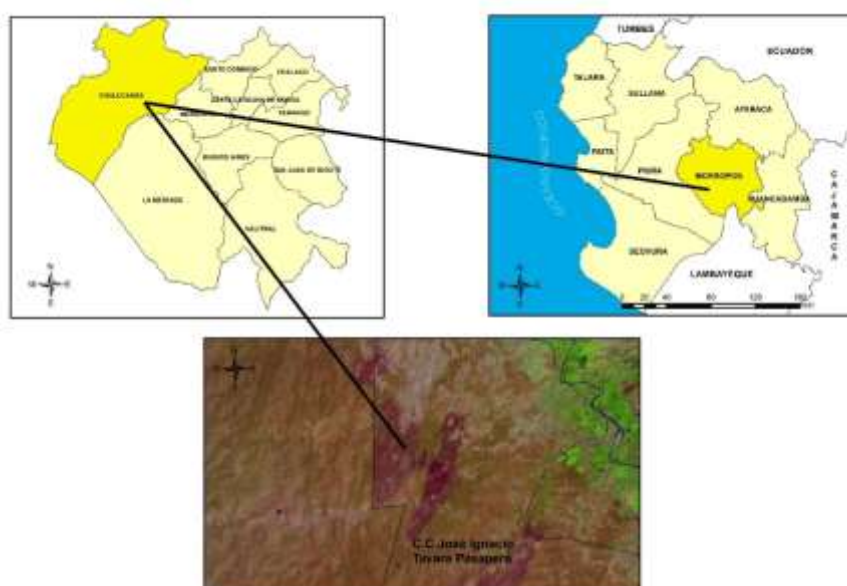
## CAPITULO II

### 2. MATERIALES MÉTODOS

#### 2.1. LOCALIDAD Y PERIODO DE EJECUCIÓN

##### 2.1.1. Ubicación Política

Departamento	:	Piura
Provincia	:	Morropón
Distrito	:	Chulucanas
Comunidad campesina	:	José Ignacio Távora Pasapera
Centro poblado	:	Señor cautivo de Ayabaca
Sector	:	Kilometro 34
Proyección	:	UTM, WGS 84, 17 S



**Figura N° 9. Ubicación política zona de estudio RGB Sentinel -2 (2017/09/08)**



### 2.1.2. Localización del área de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en el sector Km 34 de la Comunidad Campesina José Ignacio Távara Pasapera, Distrito de Chulucanas, el área afectada por el incendio tiene una extensión de 1,705.50 has aproximadamente.

La comunidad campesina José Ignacio Távara Pasapera fue reconocida por el ministerio de agricultura con la resolución R.D. 0137-86-AG-DR-II-P.

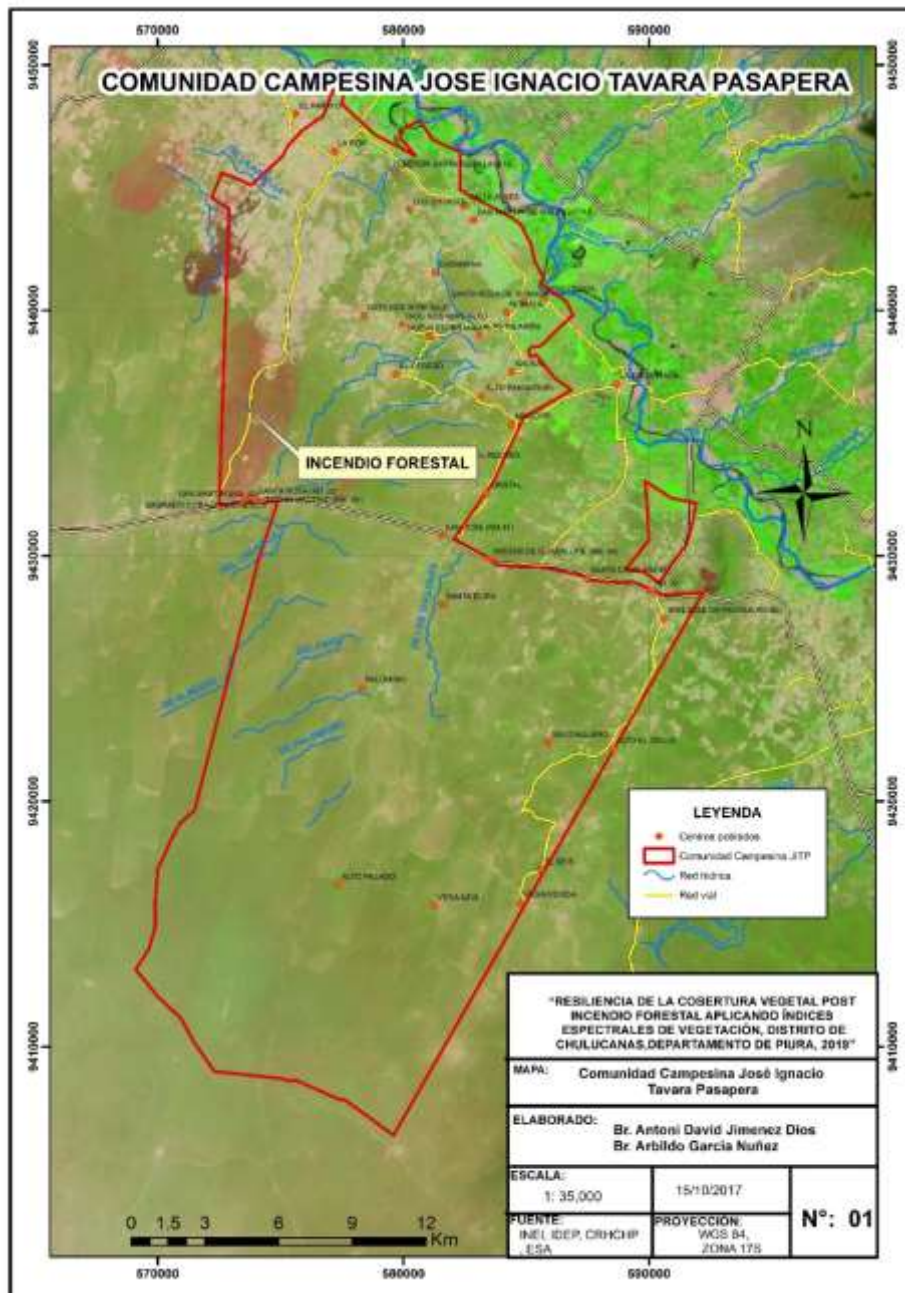


Figura N° 10. Comunidad Campesina José Ignacio Távara Pasapera



### 2.1.3. Cobertura vegetal del area de estudio

El bosque seco tipo sabana se encuentra en las planicies cubierto por depósitos aluviales y terrazas marinas en los departamentos de Piura, Tumbes y Lambayeque desde el nivel del mar hasta los 500 msnm; este estrato de bosque está conformado por arboles como el Algarrobo (*Prosopis pallida*), sapote (*Colicodendrum scabridum*), Faique (*Vachelia sp*), etc. (Ministerio del Ambiente, 2015)

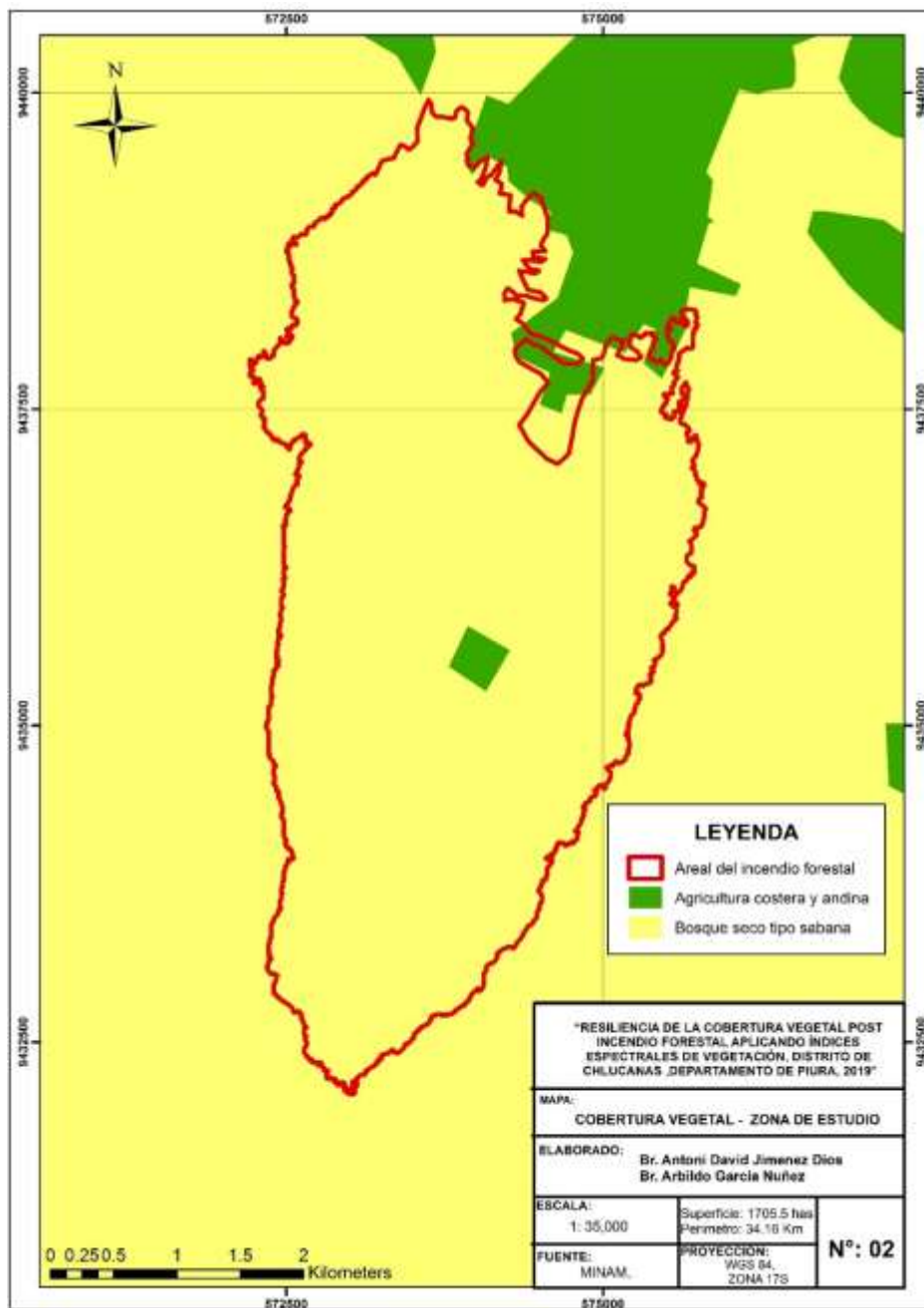


Figura N° 11. Cobertura vegetal de la zona de estudio

### **a. Fisiografía**

La fisiografía corresponde a terrenos planos y montañosos, con presencia de montañas húmedas, semihúmedas, semicálidas a templadas, moderadamente empinadas, la topografía es muy variada con pendientes de 0 a 25 %. (Instituto Nacional de Desarrollo Urbano; Proyecto Comité Ejecutivo de Reconstrucción de El Niño; Municipalidad Provincial De Morropon Chulucanas; Programa de Las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2000)

### **b. Clima y Meteorología**

El clima corresponde sub tropical, seco y árido, imperante en las regiones desérticas con temperatura templada en casi todo el año, con 16° C y la máxima es de 33° C, con precipitación media anual de 5 mm, periódicamente se producen intensas precipitaciones como en el verano de 1998 donde se registraron 14 mm. (Instituto Nacional de Desarrollo Urbano; Proyecto Comité Ejecutivo de Reconstrucción de El Niño; Municipalidad Provincial De Morropon Chulucanas; Programa de Las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2000).

### **c. Hidrología**

Chulucanas se desarrolla sobre la margen derecha los ríos Piura y Yapatera, confluyen la ciudad formando un Y. La mínima pendiente en el valle medio del río Piura hace que su cauce sea variante. Los caudales registrados en la estación del Puente Ñácara de río Piura, en los meses de enero a marzo de 1988 con promedio máximo del caudal de 578.1 m<sup>3</sup>/seg, registrado en abril. En el mes de marzo se registró el caudal máximo de 2,165 m<sup>3</sup>/seg. El río Yapatera recibe las aguas del río Charanal y es afluente del río Piura. (Instituto Nacional de Desarrollo Urbano; Proyecto Comité Ejecutivo de Reconstrucción de El Niño; Municipalidad Provincial De

Morropon Chulucanas; Programa de Las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2000).

#### **d. Flora y Fauna**

La fauna está representada por la zoña (*Mimus longicaudatus*), chilalo (*Furnarius cinnamomeus*), garza blanca (*Casmerodius sp*) entre otras especies de aves, variedad de insectos, iguanas (*Callopistes flavipunctatus*) más conocidas como pacasos en el lenguaje local y lagartijas de variados colores. Sus bosques son ralos y se encuentran especies como el algarrobo (*Prosopis pallida*), el overal (*Cordia lutea*), el faique (*Vachelia sp*), etc. (Instituto Nacional de Desarrollo Urbano; Proyecto Comité Ejecutivo de Reconstrucción de El Niño; Municipalidad Provincial De Morropon Chulucanas; Programa de Las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2000).

#### **e. Principales actividades económicas**

En la comunidad campesina de José Ignacio Távara Pasapera la actividad pecuaria es la predominante en la crianza de caprinos y ovinos, su producción es destinada a los mercados de Chulucanas y Piura. La agricultura es de autoconsumo realizándose en tiempo de lluvias, la actividad forestal se realiza en el aprovechamiento de ramas de algarrobo para leña y madera de sapote para artesanías. (Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral, 2004).

## **2.2. MATERIALES Y EQUIPOS**

### **2.2.1. Materiales**

- Machetes
- Wincha metálica
- Vernier
- Libreta de Campo
- Lapiceros y Lápiz
- Baterías Duracell
- Tablero
- Fichas de inventario (recolección de datos)
- Cinta diamétrica

### **2.2.2. Archivos**

- Imágenes satelitales Sentinel-2 (agosto del 2017 hasta diciembre de 2019)

### **2.2.3. Equipos**

- GPS Garmin 64 s
- Cámara fotográfica Nikon
- Laptop HP

### **2.2.4. Software.**

- Qgis 3.6
- Microsoft Excel
- Microsoft Office Word.
- Microsoft Power Point

## **2.3. METODOLOGÍA**

### **2.3.1. Obtención de datos de precipitación**

Se descargó datos de precipitación de la estación meteorológica de “Chulucanas”, desde agosto del 2017 hasta diciembre del 2019, con esta

información determinamos la interacción de las lluvias con el estado de recuperación del bosque afectado por el incendio forestal.

**Cuadro N° 5. Información de la Estación Meteorológica de Chulucanas**

Estación: CHULUCANAS					
Departamento:	PIURA	Provincia:	MORROPON	Distrito:	CHULUCANAS
Latitud:	5°6'30.4"	Longitud:	80°10'10.34"	Altitud:	89 msnm.
Tipo:	EMA - Meteorológica	Código:	472F6540		

Fuente: (SENAMHI, 2020)

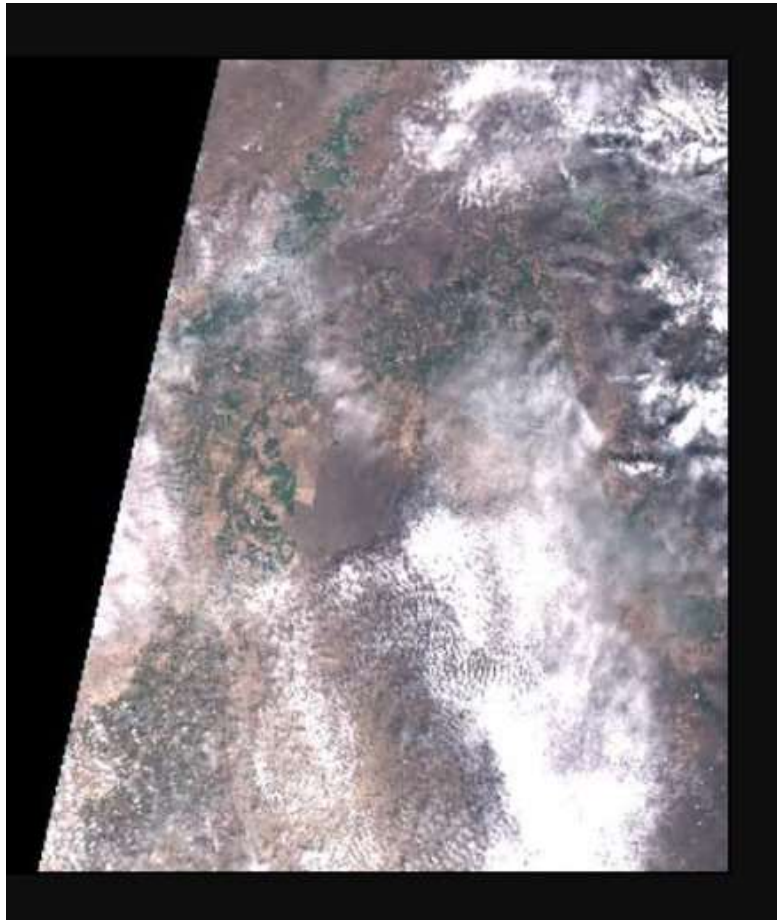
### 2.3.2. Selección de imágenes satelitales SENTINEL- 2

Sentinel – 2 es una misión europea de imágenes espectrales de alta resolución, Sentinel – 2A se lanzó el 23 de junio del 2015 y el Sentinel – 2B se lanzó en marzo del 2017. Tienen un escáner multispectral permitiendo obtener longitudes de ondas visible e infrarroja, de esa manera logrando monitorear los cambios de la tierra y la vegetación con una resolución 10 m, por ende, se seleccionó este tipo de imágenes satelitales para realizar el análisis multitemporal de un incendio forestal en el departamento de Piura.

### 2.3.3. Obtención de imágenes satelitales SETINEL - 2

Se seleccionaron 26 imágenes satelitales adquiridas desde agosto del 2017 hasta diciembre del 2019 (**ver Cuadro N° 5**) que fueron descargadas en la página web oficial Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>)

Para tener acceso a la base de datos y adquirir información a través de imágenes satelitales se debe registrarse creando usuario y una clave respectiva, para la selección de imágenes satelitales se limitó aquellas con presencia de nubosidad en el área de estudio (**ver Figura N° 12**)

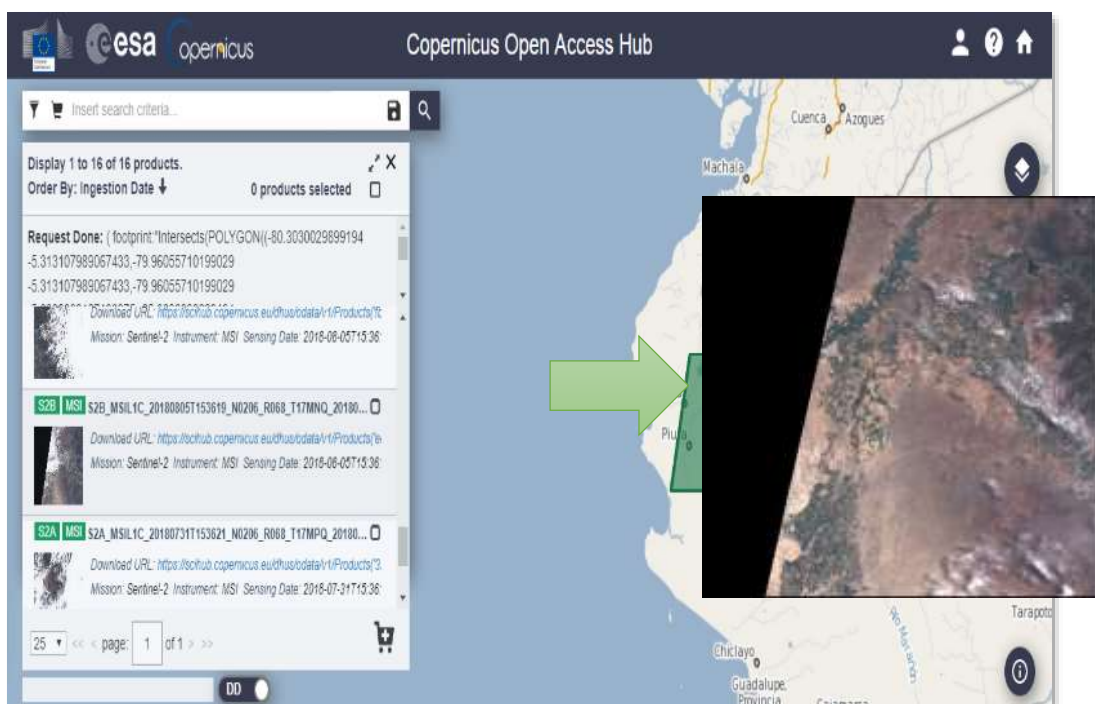


**Figura N°12. Imagen Sentinel 2 con alto porcentaje de nubosidad (18/11/2018)**

N°	Fecha	Sentinel 2 <sup>a</sup>	Sentinel 2B	IDENTIFICACIÓN DE PRODUCTO
1	05/08/2017	X		S2A_MSIL1C_20170805T153621_N0205_R068_T17MNQ_20170805T154246
2	29/09/2017		x	S2B_MSIL1C_20170929T153609_N0205_R068_T17MNQ_20170929T153932
3	19/10/2017		x	S2B_MSIL1C_20171019T153609_N0205_R068_T17MNQ_20171019T153652
4	18/11/2017		x	S2B_MSIL1C_20171118T153609_N0206_R068_T17MNQ_20171118T202829
5	18/12/2017			S2B_MSIL1C_20171218T153609_N0206_R068_T17MNQ_20171218T184243
6	12/01/2018		x	S2B_MSIL1C_20180127T153609_N0206_R068_T17MNQ_20180127T184619
7	01/02/2018	X		S2A_MSIL1C_20180201T153611_N0206_R068_T17MNQ_20180201T190246
8	13/03/2018	X		S2A_MSIL1C_20180313T153611_N0206_R068_T17MNQ_20180313T203447
9	22/05/2018	X		S2A_MSIL1C_20180522T153621_N0206_R068_T17MNQ_20180522T203523
10	01/06/2018	X		S2A_MSIL1C_20180601T153621_N0206_R068_T17MNQ_20180601T202539

11	01/07/2018	X		S2A_MSIL1C_20180701T153621_N0206_R068_T17MNQ_20180701T202318
12	25/08/2018		x	S2B_MSIL1C_20180825T153609_N0206_R068_T17MNQ_20180825T205020
13	19/09/2018	X		S2A_MSIL1C_20180919T153611_N0206_R068_T17MNQ_20180919T202812
14	24/10/2018		x	S2B_MSIL1C_20181024T153619_N0206_R068_T17MNQ_20181024T204616
15	08/12/2018	X		S2A_MSIL1C_20181208T153611_N0207_R068_T17MNQ_20181208T185817
16	21/02/2019		x	S2B_MSIL1C_20190221T153619_N0207_R068_T17MNQ_20190221T203233
17	08/03/2019	X		S2A_MSIL1C_20190308T153611_N0207_R068_T17MNQ_20190308T203619
18	12/04/2019		x	S2B_MSIL1C_20190412T153629_N0207_R068_T17MNQ_20190412T202941
19	17/05/2019	X		S2A_MSIL1C_20190517T153621_N0207_R068_T17MNQ_20190517T202237
20	06/06/2019	X		S2A_MSIL1C_20190606T153621_N0207_R068_T17MNQ_20190606T202504
21	21/07/2019		x	S2B_MSIL1C_20190721T153629_N0208_R068_T17MNQ_20190725T051659
22	20/08/2019		x	S2B_MSIL1C_20190820T153629_N0208_R068_T17MNQ_20190820T202350
23	14/09/2019	X		S2A_MSIL1C_20190914T153621_N0208_R068_T17MNQ_20190914T202450
24	14/10/2019	X		S2A_MSIL1C_20191014T153621_N0208_R068_T17MNQ_20191014T190021
25	13/11/2019	X		S2A_MSIL1C_20191113T153621_N0208_R068_T17MNQ_20191113T190013
26	23/12/2019	X		S2A_MSIL1C_20191223T153611_N0208_R068_T17MNQ_20191223T185706

**Cuadro N° 6. Productos SENTINEL seleccionados**



**Figura N° 13. Adquisición de imágenes Sentinel-2 a través de la página oficial de Copernicus**



### 2.3.4. Pre procesamiento de imágenes satelitales

- **Corrección atmosférica**

En esta etapa se realizó la corrección atmosférica a todas las imágenes satelitales, para eliminar la presencia de gases que pueden distorsionar los valores de los píxeles, utilizando el Software **Qgis 3.6** a través de la herramienta **Semi – Automatic Classification Plugin**. (Figura N° 14).

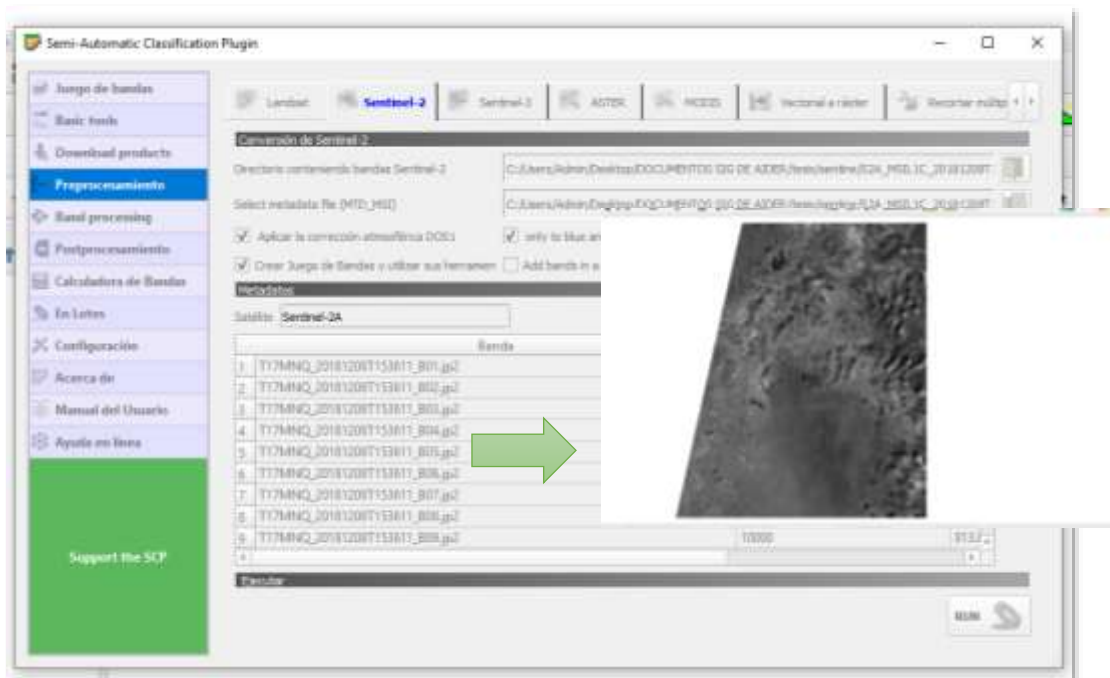


Figura N° 14. Corrección atmosférica a través de Qgis 3.6

### 2.3.5. Procesamiento de imágenes satelitales

- **Determinación de la superficie post incendio forestal**

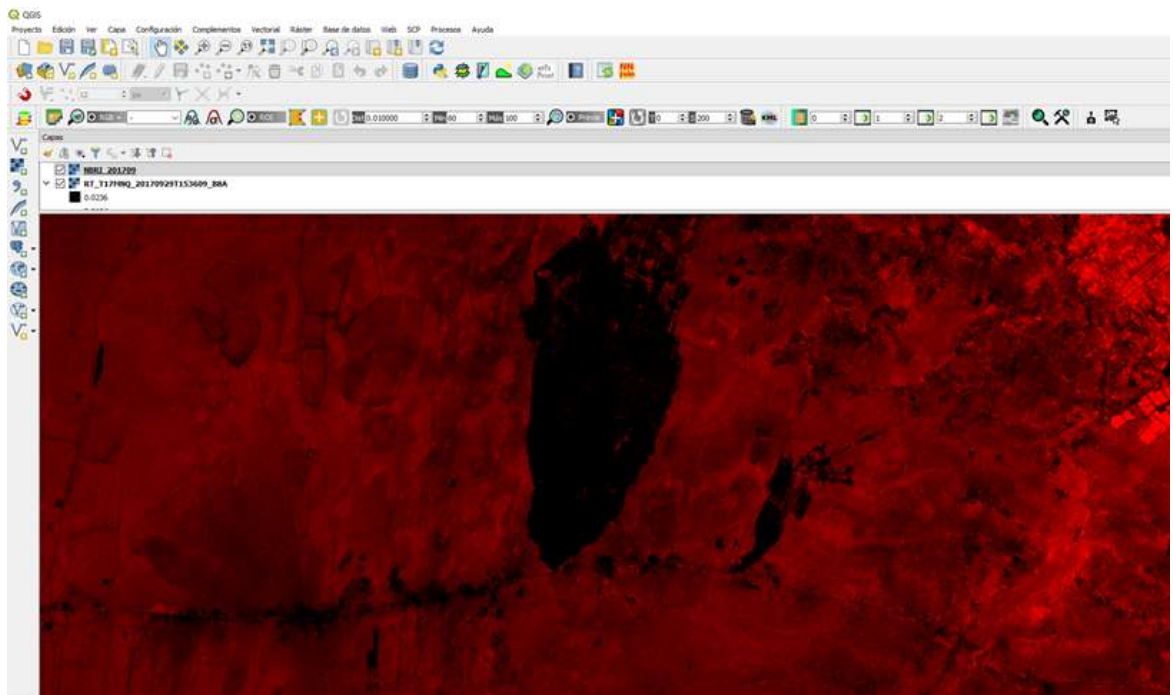
Para determinar el área afectada por el incendio forestal se aplicó el índice espectral NBRI (Normalized burnt ratio, índice de áreas quemadas), que combina las bandas del infrarrojo cercano y onda corta para distinguir y discriminar zonas afectadas por incendios forestales, en el software **Qgis 3.6** se aplicó dicho índice a través de **calculadora ráster** con la siguiente formula:



$$NBRI = \frac{(\rho_{B8A} - \rho_{B12})}{(\rho_{B8A} + \rho_{B12})}$$

$\rho_{(B8A)}$ : Reflectancia de la banda cercana

$\rho_{(B12)}$ : Reflectancia de la banda infrarroja de onda corta



*Figura N° 15. Vectorización del área afectada por el incendio forestal utilizando Qgis 3.6*

En la imagen podemos observar que las manchas oscuras muestran la zona de estudio, posteriormente se trazó una capa vectorial.

- **Obtención del NDVI**

Utilizando las imágenes previamente habilitadas, se procedió a realizar los procesos respectivos para determinar el índice de vegetación NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, Índice de vegetación de diferencia normalizada), a través del software **Qgis 3.6** utilizando la herramienta **calculadora ráster**, cuya ventana se cargaron las imágenes

Banda 8A - Visible e Infrarrojo Cercano y Banda 4 – Rojo y se determinó con la siguiente formula:

$$NDVI = \frac{(\rho_{(B8A)} - \rho_{(B4)})}{(\rho_{(B8A)} + \rho_{(B4)})}$$

$\rho_{(B8A)}$ : Reflectancia de la banda infrarroja cercana

$\rho_{(B4)}$ : Reflectancia de la banda roja.

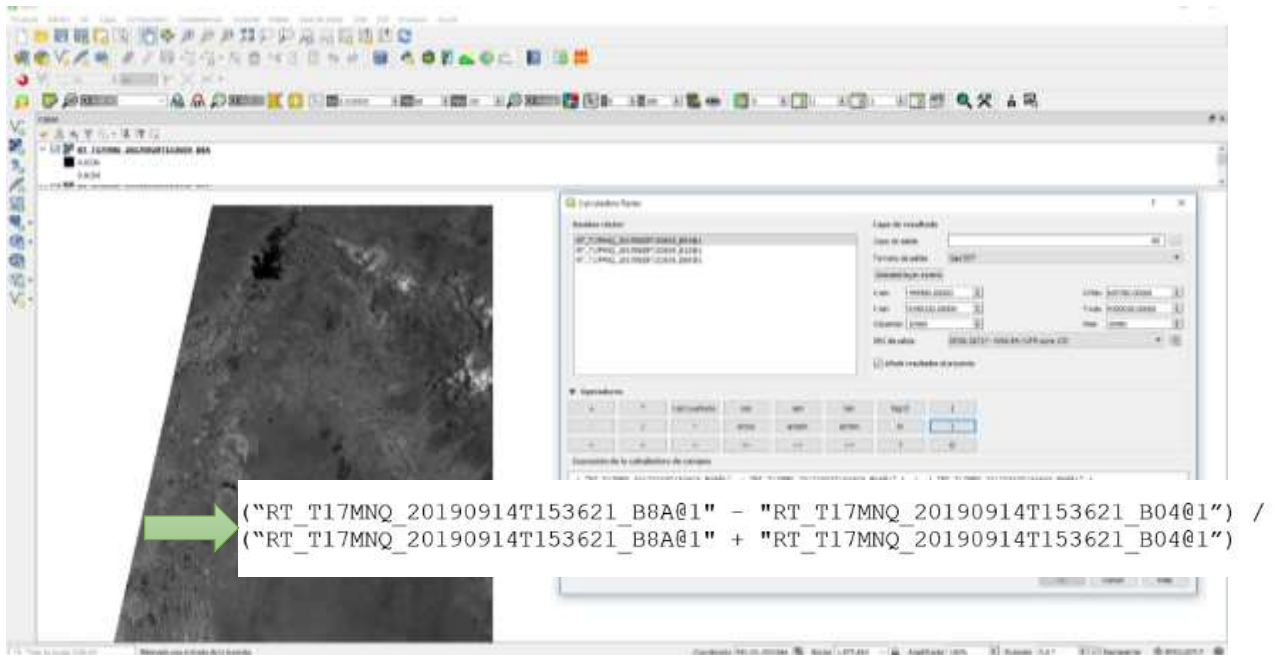


Figura N° 16. Obtención de NDVI, utilizando Qgis 3.6

### • Obtención del SAVI

El SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index, Índice de vegetación Ajustado al Suelo), se obtuvo cargando la Banda 8A - Visible e Infrarrojo Cercano y Banda 4 – Rojo, con el software **Qgis 3.6** se abrió la herramienta **calculadora ráster** y con la siguiente formula se obtuvo dicho índice:

$$SAVI = \frac{(\rho_{B8A} - \rho_{B4})}{(\rho_{B8A} + \rho_{B4} + L)} \times (1 + L)$$

u<sub>nir</sub>: Reflectancia de la banda infrarroja cercana

ρ<sub>RED</sub>: Reflectancia de la banda roja.

L: 0.5, si L es 0, entonces SAVI=NVDI

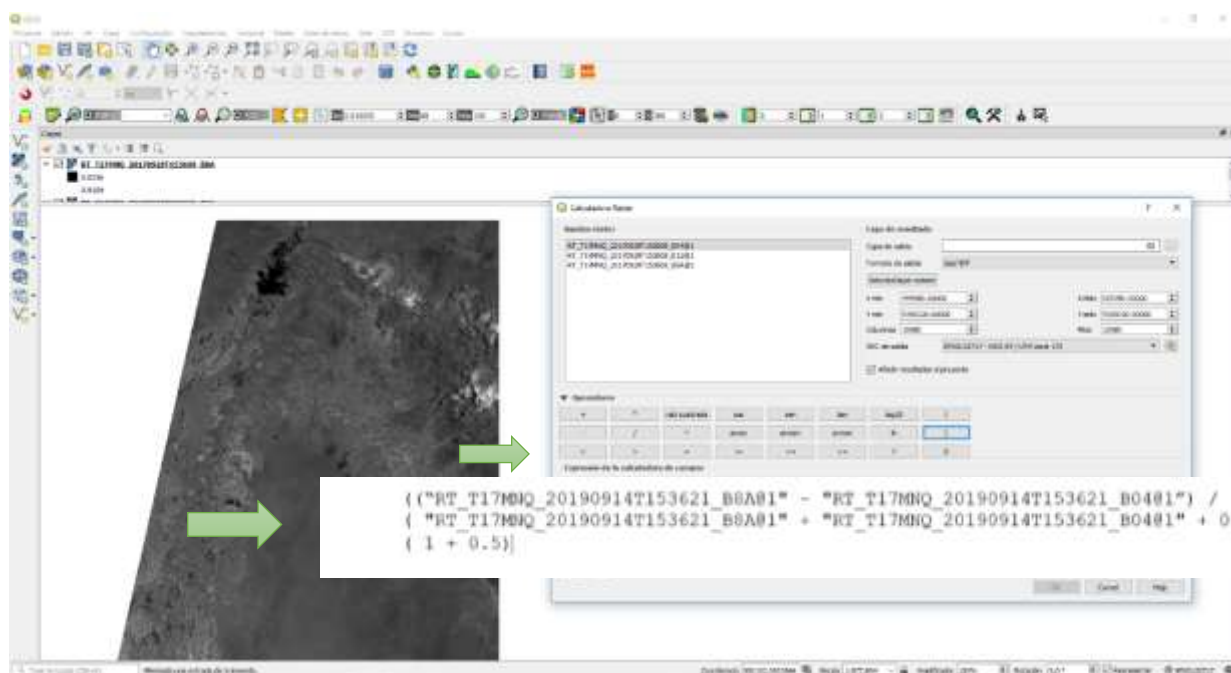


Figura N° 17. Obtención del SAVI, utilizando Qgis 3.6

### • Obtención de NBR

El índice de áreas quemadas NBRI (Normalized burnt ratio), se obtiene cargando la Banda 8A - Visible e Infrarrojo Cercano y Banda 12 - Onda Corta Infrarroja, el cual discrimina muy bien áreas afectadas por incendios forestales, para aplicar dicho índice se realizó con el software **Qgis 3.6** a través de la herramienta **calculadora ráster** en donde aplicamos la siguiente formula:

$$NBR = \frac{(\rho_{B8A} - \rho_{B12})}{(\rho_{B8A} + \rho_{B12})}$$

$\rho_{(B8A)}$ : Reflectancia de la banda cercana

$\rho_{(B12)}$ : Reflectancia de la banda infrarroja de onda corta

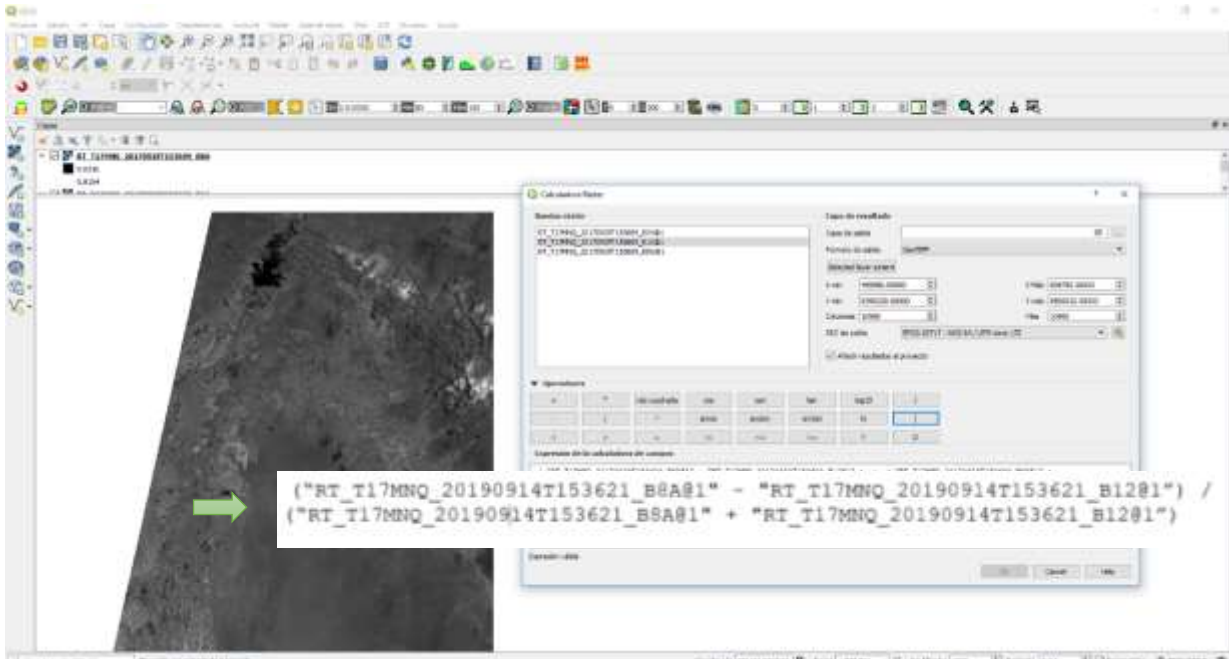


Figura N° 18. Obtención del NBRI, utilizando Qgis 3.6

- **Recorte de imágenes satelitales**

Las imágenes procesadas tras determinar los índices de vegetación se procedieron a realizar el recorte del área de estudio y del área testigo, utilizando **Qgis 3.6** a través de la herramienta **GDAL > Extracción ráster > Cortar ráster por capa de mascara**.

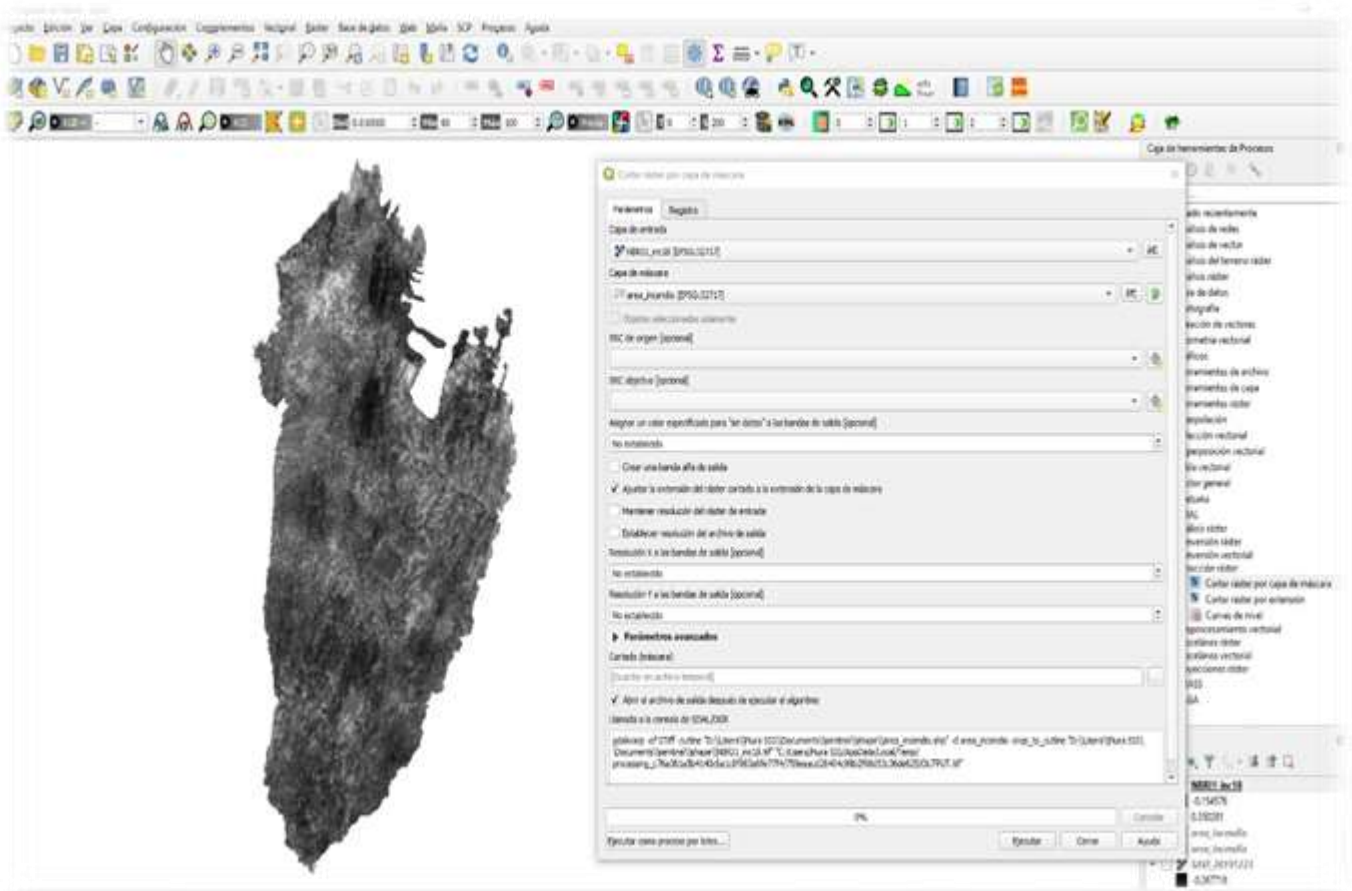


Figura N° 19. Recorte de imagen satelital, Qgis 3.6

Posteriormente se obtuvo el valor promedio de los píxeles del área afectada por el incendio forestal y testigo a través de **propiedades de la capa > Información del proveedor**, el cual nos da información de ruta de la imagen, tamaño del píxel y valores estadísticos más importantes. (Ver Figura N° 20).

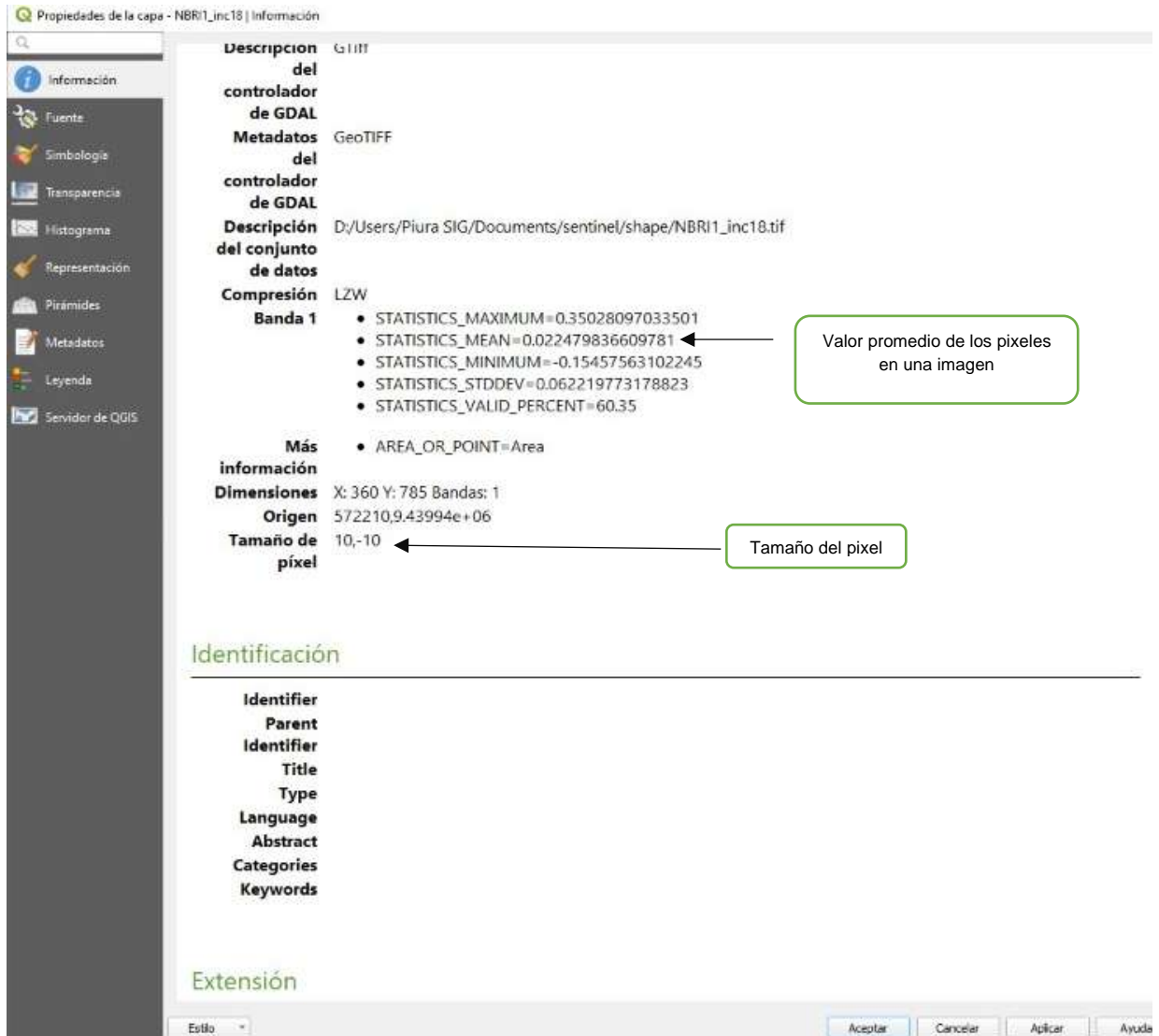


Figura N° 20. Valores promedios del pixel, en una imagen procesada

### 2.3.6. Comportamiento de los valores de los índices espectrales

Para determinar el comportamiento de la vegetación en el área afectada y testigo generamos tendencias con los valores promedios de los índices espectrales (NDVI, SAVI y NBRI), las imágenes se obtuvieron cada mes y descartando aquellas con nubosidad en nuestra área de estudio, los meses donde no fue posible obtener los índices de vegetación se ha estimado a partir de una media móvil.

### 2.3.7. Instalación de unidades de muestreo

Las unidades de muestreo fueron colocadas en dos zonas distintas, en el área de post incendio y el testigo.

Según el Ministerio del Ambiente, (2015), el tamaño de la unidad muestral en el bosque de la región costa es de 0.5 Ha.

- **Diseño de sub unidades de muestreo**

La superficie de la parcela o unidades de muestreo es de 0.5 has, dividida en 10 subparcelas circulares de 0.05 has con un radio de 12.62 m.

- ❖ En las 10 subparcelas medimos todos los arboles
- ❖ Las subparcelas impares medimos el estrato arbóreo y fustales.
- ❖ En las subparcelas 3, 5 y 7 medimos la regeneración del bosque a nivel de brinzal y latizal. (ver figura N° 18) (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2016)

**Cuadro N° 7. Estratos poblacionales por ecozona.**

Ecozona	Estrato	Definición
Costa y Sierra	Arbóreo	individuos con DAP mayor o igual a 10 cm
	Fustal	individuos con DAP mayor o igual a 5 cm pero menor que 10
	Latizales	Individuos con diámetro menor a 5 cm (a 30 cm del suelo) y altura mayor a 2 metros
	Brinzales	Plántulas con alturas entre 0.30 m a 1 m

Fuente: (Durán, 2018)



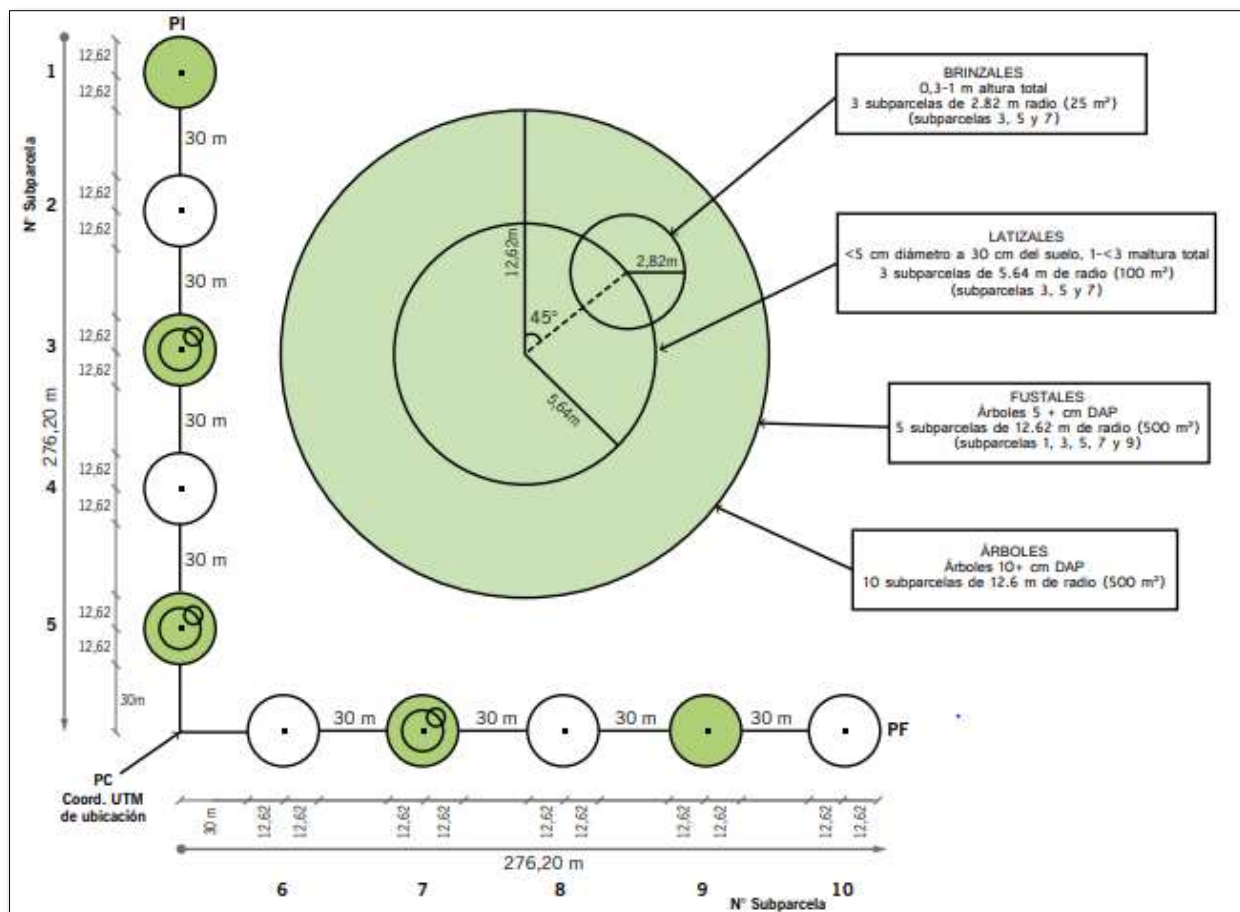


Figura N° 21. Configuración de la unidad de muestreo

Fuente: (Durán, 2018)

- **Tamaño mínimo de muestra**

Se refiere al número de parcelas de muestreo requeridas para realizar el inventario, para el cálculo del tamaño mínimo de muestra se utilizará la siguiente ecuación. (Ministerio del Ambiente, 2015).

$$N = a + b(S)$$

Donde:

N: Superficie Total de la muestra (ha)

S: Superficie total a evaluar

a: 5

b: 0.001

Luego de determinar la superficie total (N), se procedió a dividir este valor entre el tamaño de la parcela de muestreo para la región costa es de 0.50



ha. (Ministerio del Ambiente, 2015). La instalación de las unidades o parcelas de muestreo se realizó al azar tanto en el área post incendio forestal y su zona de transición así mismo del área testigo.

### 2.3.5. Registro de variables

En la presente investigación se realizó fichas (**ver anexo 3, 4, 5,6.**) para registrar la estructura de la vegetación en sus diferentes estratos, brinzal, latizal, fustal y arbóreo, tanto en la zona de incendio forestal y testigo, donde evaluamos los siguientes parámetros:

**Altura:** es una variable muy importante que mide a diferentes formas de vida vegetal. Para medición de árboles utilizamos el Clinómetro o Eclímetro para medir altura total, para otros estratos arbóreos más pequeños se realizó a través de una wincha metálica

**Diámetro (DAP):** Para determinar esta variable se utilizó cinta métrica para árboles y pie de rey para pequeños arbustos y/o regeneración natural. Para determinar el DAP se realizó con la siguiente formula:

$$D = \frac{LC}{3.1416}$$

Donde:

D: Diámetro a la altura del pecho (DAP)

LC: Longitud de circunferencia

**Diámetro de la Copa:** El diámetro de la copa permite calcular el grado de cobertura de las especies o de una población determinada.

El DC, lo obtuvimos a través de proyecciones horizontales al nivel del suelo, ( $d_1$ ) diámetro mayor, ( $d_2$ ) diámetro menor:

$$DC = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

### 2.3.6. Estimación de parámetros

#### Abundancia:

- a. Abundancia absoluta: Se calculó contando el número de individuos/especie en un área determinada.,
- b. Abundancia relativa: Se determinó a través de la relación entre individuos de cada especie (n) con la cantidad total de individuos (N), expresado en porcentaje ( $n/N \times 100$ ).

#### Densidad Poblacional:

Se refiere al número de individuos en un área determinada, es aplicado en todo tipo de bosque:

$$D = \left( \frac{N}{A} \right)$$

Donde:

D: Densidad Poblacional

N: Número de Individuos

A: Superficie en estudio

#### Cobertura:

Este parámetro se determinó a través del área de la copa a partir de la fórmula del círculo, donde actúa como variable principal el diámetro promedio de cada individuo, se calcula en la parcela de muestreo y luego es extrapolado al área en estudio:

$$AC = 3.1416 \left( \frac{DC}{2} \right)^2$$

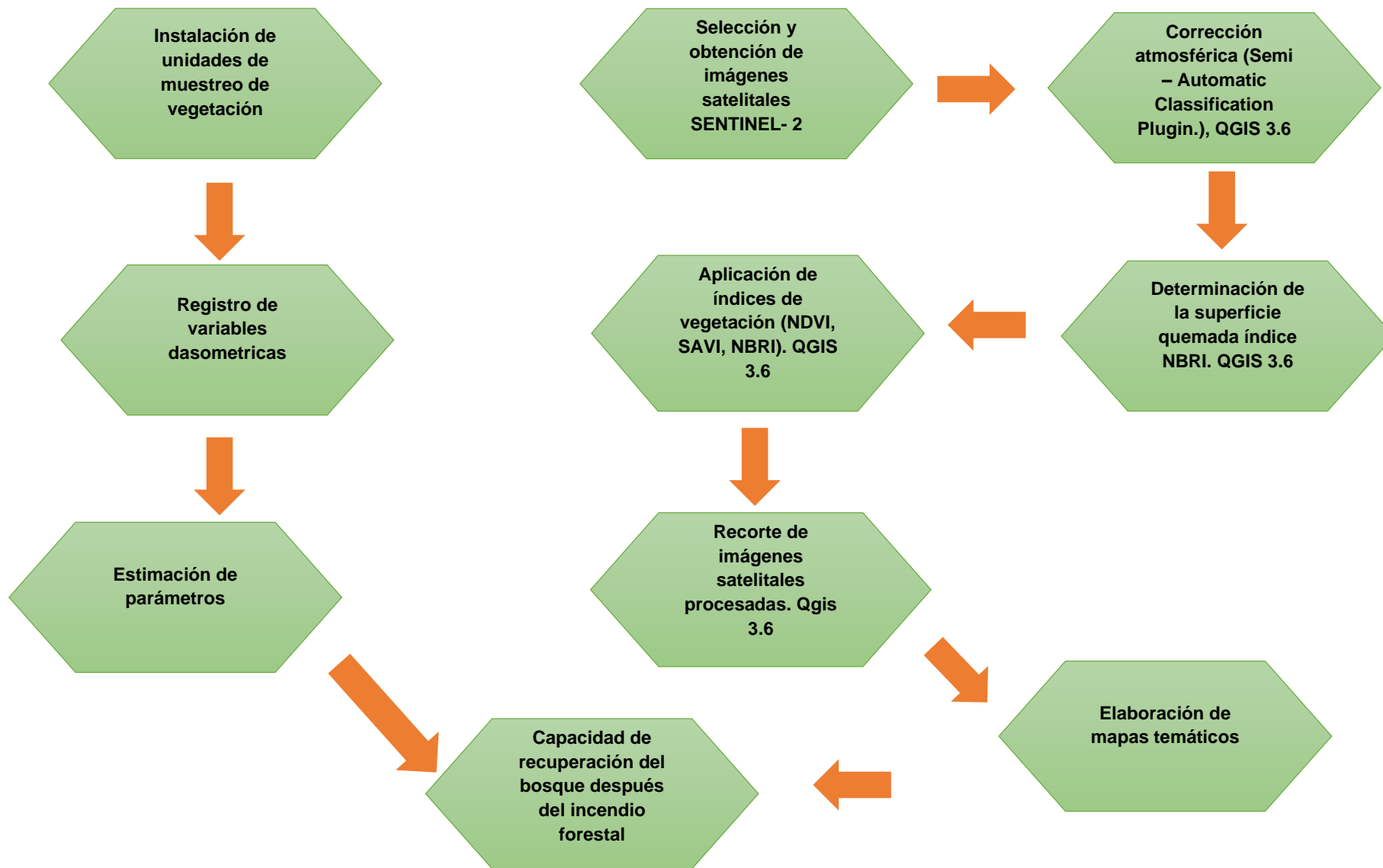


Figura N° 22. Diagrama de flujo de los procesos empleados

## CAPITULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. RESULTADOS

##### 3.1.1. Análisis multitemporal de la cobertura vegetal pre y post incendio forestal.

La vegetación después de un incendio forestal suele recuperarse, para entender este proceso fue necesario realizar un análisis multitemporal de la vegetación aplicando índices espectrales de vegetación, este comportamiento podemos analizarlo en las tendencias de los gráficos (1,2 y 3). Según Guerrero & Campos, (2017), la tendencia es la dirección o secuencias de sucesos de la cobertura vegetal, permitiendo evaluar su comportamiento a través del NDVI, en su investigación realizada en la Universidad Nacional de Tumbes obtuvo tendencias positivas en la Reserva Nacional de Tumbes y tendencias ligeramente negativas en Parque Nacional Cerros de Amotape representando que la vegetación densa del NDVI con valores altos pasa a otro tipo de cobertura con valores bajos.

Seleccionamos los valores promedios de los índices espectrales en el área de estudio por cada mes y aquellos donde no obtuvimos datos hemos estimado con media móvil, en el **Cuadro N° 08** se observa los valores de los índices y valores pronosticados por media móvil

*Cuadro N° 8: Valores promedios de los índices de vegetación y media móvil, zona de estudio*

Fecha	Valores promedios de los índices de vegetación, zona afectada por el incendio forestal					
	NDVI	Media móvil	SAVI	Media móvil	NBRI	Media móvil
Ago-17	0.46802	-	0.28797	-	0.30473	-
sep-17	0.25113	-	0.14235	-	- 0.02753	-

Oct-17	0.24734	0.32216	0.14647	0.19226	- 0.02515	0.08402
Nov-17	0.23782	0.24543	0.14204	0.14362	- 0.02487	- 0.02585
Dic-17	0.24275	0.24264	0.14622	0.14491	0.01442	- 0.01187
Ene-18	0.26592	0.24883	0.16054	0.14960	0.02248	0.00401
Feb-18	0.26125	0.25664	0.16172	0.15616	0.04290	0.02660
Mar-18	0.25389	0.26035	0.16271	0.16166	0.03263	0.03267
Abr-18	-	0.25757	-	0.16222	-	0.03777
May-18	0.28446	0.26918	0.16952	0.16612	0.05015	0.04139
Jun-18	0.27811	0.28129	0.16732	0.16842	0.04966	0.04991
Jul-18	0.27121	0.27793	0.16523	0.16736	0.05621	0.05201
Ago-18	0.26506	0.27146	0.16936	0.16730	0.04281	0.04956
Sep-18	0.24772	0.26133	0.16655	0.16705	0.05525	0.05142
Oct-18	0.24220	0.25166	0.16294	0.16628	0.03645	0.04484
Nov-18	-	0.24496	-	0.16475	-	0.04585
Dic-18	0.24858	0.24539	0.16606	0.16450	0.07060	0.05353
Ene-19	-	0.24858	-	0.16606	-	0.07060
Feb-19	0.45242	0.35050	0.29747	0.23177	0.29439	0.18250
Mar-19	0.64214	0.54728	0.46003	0.37875	0.51357	0.40398
Abr-19	0.43446	0.50967	0.29438	0.35063	0.30305	0.37034
May-19	0.40284	0.49315	0.26800	0.34080	0.27255	0.36306
Jun-19	0.39849	0.41193	0.26386	0.27541	0.26689	0.28083
Jul-19	0.34739	0.38291	0.22523	0.25236	0.20508	0.24817
Ago-19	0.32470	0.35686	0.21528	0.23479	0.16932	0.21376
sep-19	0.29730	0.32313	0.20589	0.21547	0.16266	0.17902
Oct-19	0.28742	0.30314	0.20034	0.20717	0.13923	0.15707
Nov-19	0.28494	0.28989	0.19379	0.20001	0.10553	0.13581
Dic-19	0.27591	0.28276	0.18488	0.19300	0.15293	0.13256

**a. Tendencia del índice de vegetación NDVI, área post incendio forestal.**

En el Grafico 1, se aprecia la dinámica de la cobertura vegetal del índice espectral NDVI y media móvil desde agosto del 2017 hasta diciembre del 2019, la tendencia muestra que inicialmente el valor promedio del NDVI es de 0.46802 y según la clasificación propuesta por Duncan, et al, (1993), como se citó en Navazo, Nieto, & Moreno, (2016) la actividad fotosintética de la vegetación es considerada media, esto se debe por ser un bosque caducifolio, posteriormente la tendencia disminuye repentinamente en septiembre del 2017 donde ocurre el incendio forestal con un valor de 0.25113 manteniéndose constante en el tiempo con mínimas variaciones hasta diciembre del 2018. A principios del año 2019 donde las precipitaciones registradas fueron aumentando de esa manera la biomasa vegetal empieza aumentar relacionándose con los valores elevados del NDVI, siendo el mes de marzo el valor más alto que ha sido registrado con 0.64214, en abril la tendencia tiende a disminuir bruscamente por la presencia de pasturas secas. El pronóstico de media móvil se asemeja al real (NDVI).

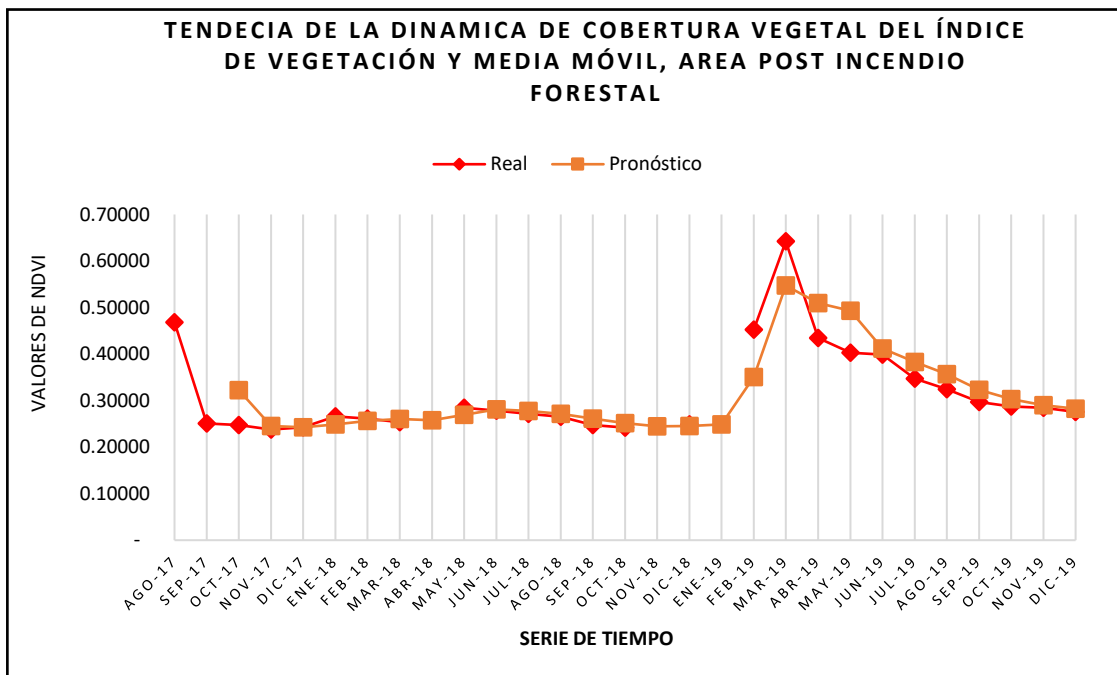
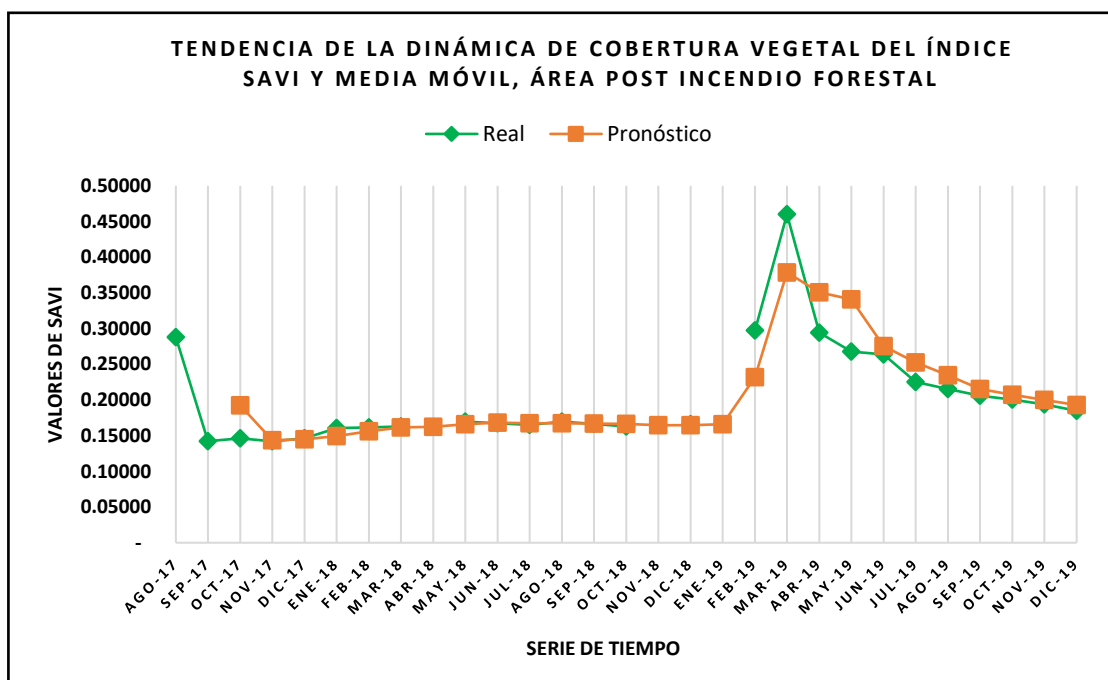


Gráfico N° 1. Tendencia de la dinámica de cobertura vegetal del índice NDVI y media móvil, área post incendio forestal

**b. Tendencia del índice de vegetación SAVI, área afectada post incendio forestal.**

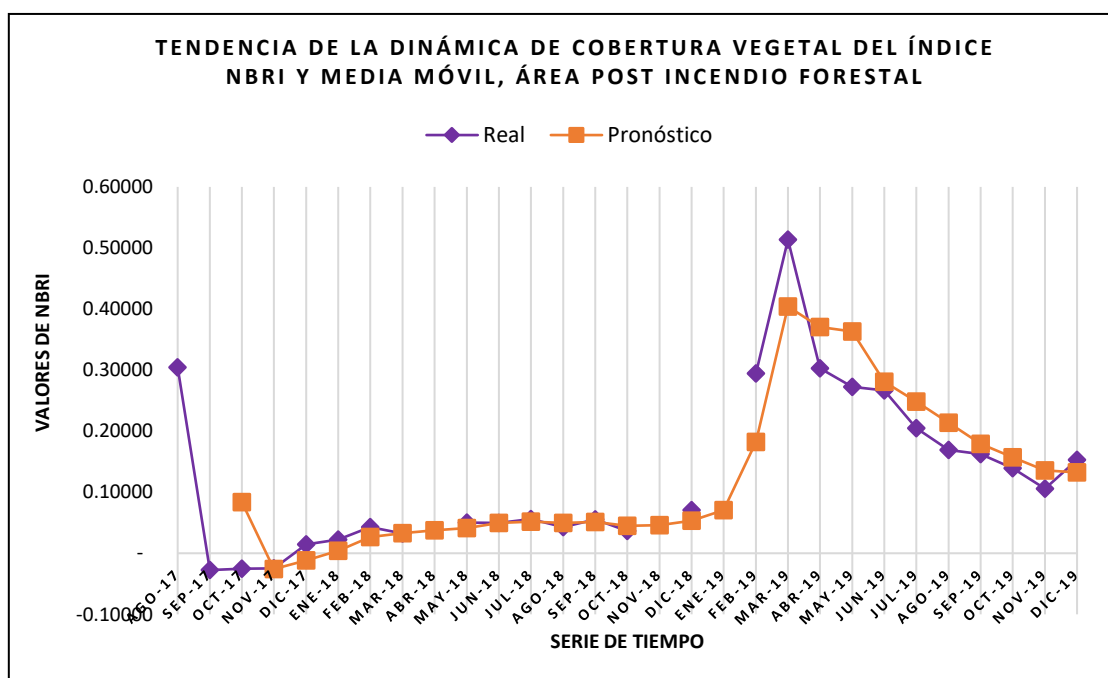
En la Grafico 2, observamos el comportamiento de la vegetación a través de tiempo aplicando el índice espectral de vegetación ajustado al suelo SAVI y media móvil, su amplitud en comparación al NDVI disminuye debido a la capacidad que ha desarrollado en discriminar mejor entre vegetación y suelo. En agosto del 2017 la tendencia del SAVI es de 0.28797 considerado por Alencar, Parodi, Silva, & Opazo, (2019), vegetación poco densa. En septiembre del 2017 la tendencia disminuye repentinamente con un valor de 0.14235 por efecto del incendio forestal y así se mantiene constante con variaciones mínimas hasta diciembre del 2018, posteriormente el siguiente año la tendencia empieza a aumentar y en marzo del 2019 se registra el valor más alto con 0.46003, esta variación está relacionado con las el aumento de la biomasa de la vegetación a causa de las altas precipitaciones, en abril del 2019 la tendencia disminuye bruscamente y se reduce de forma gradual en el tiempo. El pronóstico de media móvil se asemeja a los valores del real (NDVI)



**Gráfico N° 2. Tendencia de la dinámica de cobertura vegetal del índice SAVI y media móvil, área post incendio forestal**

**c. Tendencia del índice de vegetación NBRI, área afectada post incendio forestal.**

En el Grafico 3, se muestra el comportamiento de la cobertura vegetal en una serie de tiempo del NBRI y media móvil, en agosto del 2017 el valor de NBRI es de 0.30473 y disminuye repentinamente en septiembre con un valor de -0.02753 considerado por Lutes et al., (2006), como se citó en Alencar, Parodi, Silva, & Opazo, (2019), un incendio forestal de nula severidad, este índice es muy sensible a los cambios imprevistos de vegetación es por ello que existe un aumento gradual en el año 2018 por las tenues precipitaciones que conllevaron a la regeneración natural de la vegetación, posteriormente en el año 2019 el índice de vegetación se eleva relacionándose con el aumento de la biomasa vegetal en respuesta a las altas precipitaciones y así disminuye bruscamente cuando estas cesan. La tendencia del pronóstico se asemeja a la tendencia real (NBRI).



**Gráfico N° 3. Tendencia de la dinámica de cobertura vegetal del índice NBRI y media móvil, área post incendio forestal**



**d. Comparación entre índices de vegetación en la dinámica de la cobertura vegetal, área post incendio forestal**

En el Grafico 4, se presenta las tendencias de los índices espectrales de vegetación y media móvil donde refleja la dinámica de la cobertura vegetal del área afectada por el incendio forestal ocurrido en septiembre del 2017, los índices reflejan similitud en el comportamiento de las tendencias, cuyos valores promedios de los pixeles de área de estudio son significativamente diferentes.

El NDVI es un índice de vegetación muy sensible a la reflectividad del suelo, es por ello que se utiliza con mayor frecuencia en coberturas de alta densidad de vegetación, según, Muñoz, (2013), resalta que en zonas de baja densidad de vegetación la discriminación disminuye dando resultado de suelo desnudo. La tendencia que representa el NDVI muestra la variación de la vegetación sin presenciarse efectos significativos de la reflectancia del suelo.

El índice ajustado al suelo SAVI, reduce las variaciones inducidas por la reflectividad del suelo, según, Huete, (1988), indica que en comparación del NDVI discrimina mejores zonas de baja cobertura vegetal, pero al introducirse un parámetro que ajusta la línea entre suelo y vegetación disminuye su amplitud, en el Grafico 4 se muestra la tendencia del SAVI cuyos valores han disminuido pero el comportamiento de la tendencia tiene similitud al NDVI.

El índice NBRI, se utiliza mayormente para determinar la intensidad de un incendio forestal, este índice es más sensible a los cambios repentinos de la cobertura vegetal esto se debe a que la banda infrarroja mediana tiende a aumentar cuando ocurre un incendio, en este caso la tendencia de la vegetación del NBRI en el área de estudio tienen valores negativos por efecto del incendio así mismo es muy sensible a los cambios y suele aumentar con la presencia de poca vegetación. Las tendencias del pronóstico y de los índices tienen

similitud en su comportamiento.

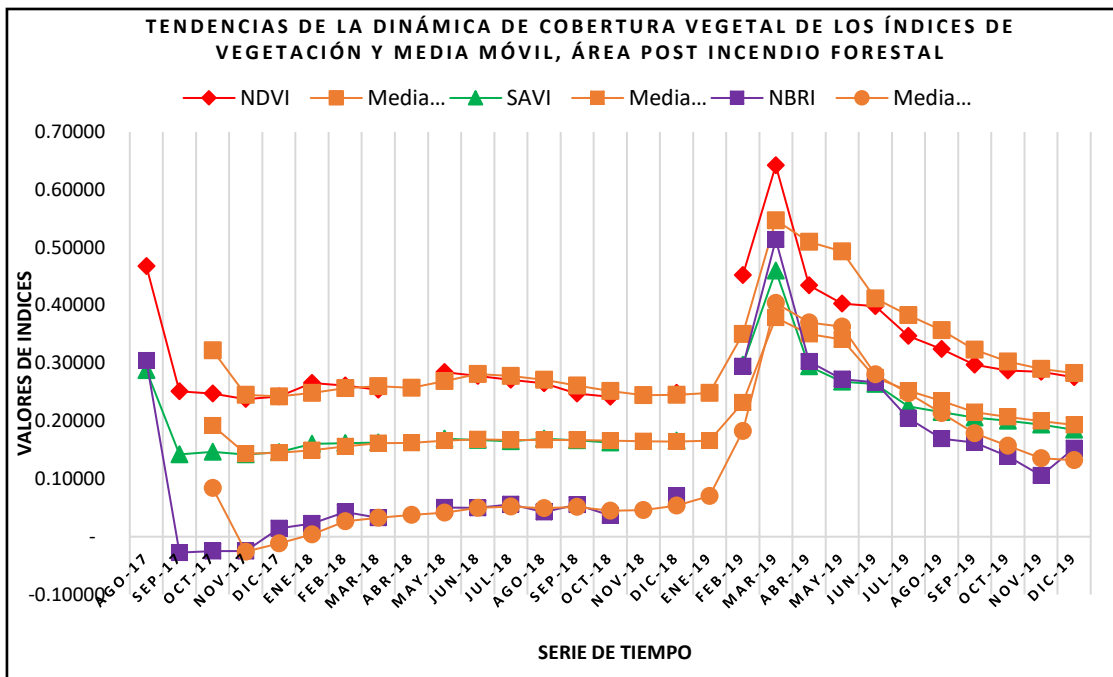


Gráfico N° 4. Tendencias de la dinámica de cobertura vegetal de los índices de vegetación y media móvil, área post incendio forestal

### 3.1.2. Restauración natural del área afectada por el incendio forestal

En la presente investigación se determinó el grado de recuperación del bosque después de un incendio forestal, fue necesario comparar las tendencias de los índices de vegetación en estudio con un área testigo que tiene las mismas características de cobertura vegetal, en el gráfico (5, 6 y 7), se muestran estas comparaciones.

En el **cuadro N° 9**, observamos los valores promedios de los píxeles mensual tanto en la zona post incendio forestal y testigo, con esta información podemos determinar las tendencias de los índices de vegetación para ambas situaciones

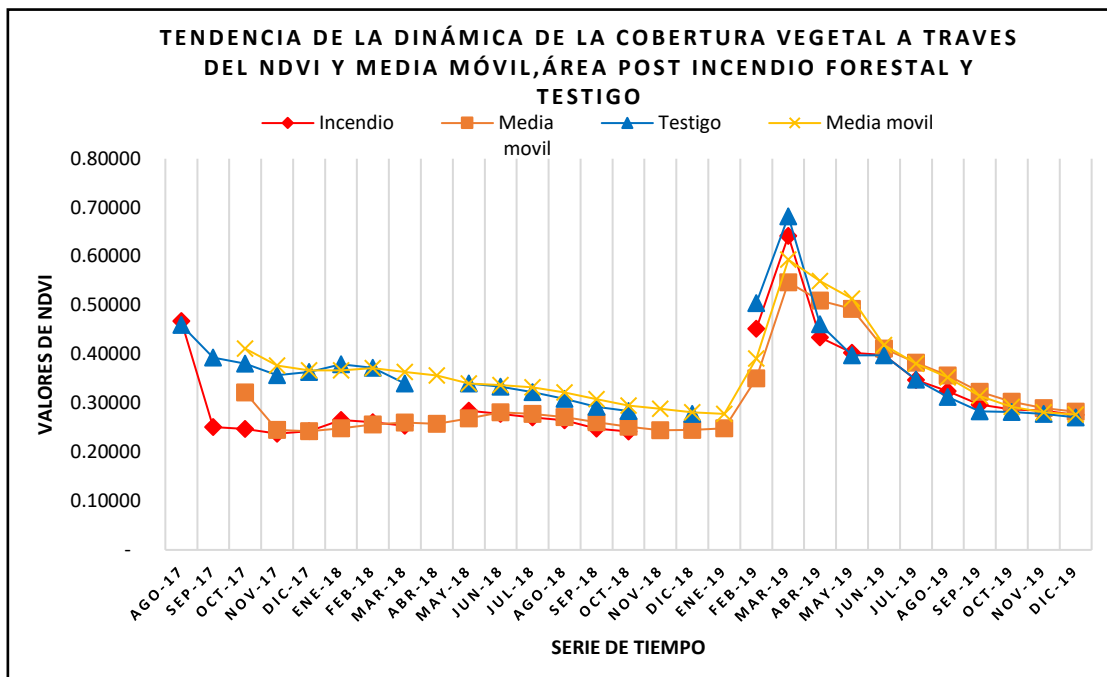
**Cuadro N° 9. Valores promedios de los índices de vegetación y media móvil, área post incendio forestal y testigo**

Fecha	VALORES PROMEDIOS DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN Y MEDIA MÓVIL, ZONA AFECTADA POR EL INCENDIO FORESTAL											
	NDVI				SAVI				NBRI			
	Incendio	Media móvil	Testigo	media móvil	Incendio	Media móvil	Testigo	Media móvil	Incendio	Media móvil	Testigo	Media móvil
Ago-17	0.46802	-	0.45992	-	0.28797	-	0.28282	-	0.30473	-	0.28369	-
sep-17	0.25113	-	0.39338	-	0.14235	-	0.25710	-	- 0.02753	-	0.22059	-
Oct-17	0.24734	0.32216	0.38073	0.41134	0.14647	0.19226	0.25118	0.26370	- 0.02515	0.08402	0.21042	0.23823
Nov-17	0.23782	0.24543	0.35718	0.37710	0.14204	0.14362	0.22593	0.24474	- 0.02487	- 0.02585	0.16692	0.19931
Dic-17	0.24275	0.24264	0.36400	0.36730	0.14622	0.14491	0.23188	0.23633	0.01442	- 0.01187	0.20529	0.19421
Ene-18	0.26592	0.24883	0.37952	0.36690	0.16054	0.14960	0.23011	0.22931	0.02248	0.00401	0.17302	0.18174
Feb-18	0.26125	0.25664	0.37250	0.37201	0.16172	0.15616	0.22948	0.23049	0.04290	0.02660	0.18391	0.18741
Mar-18	0.25389	0.26035	0.34033	0.36412	0.16271	0.16166	0.21106	0.22355	0.03263	0.03267	0.12890	0.16194
Abr-18	-	0.25757	-	0.35642	-	0.16222	-	0.22027	-	0.03777	-	0.15641
May-18	0.28446	0.26918	0.34043	0.34038	0.16952	0.16612	0.18881	0.19994	0.05015	0.04139	0.09391	0.11141
Jun-18	0.27811	0.28129	0.33374	0.33709	0.16732	0.16842	0.18721	0.18801	0.04966	0.04991	0.09631	0.09511
Jul-18	0.27121	0.27793	0.32292	0.33236	0.16523	0.16736	0.18601	0.18734	0.05621	0.05201	0.10613	0.09878
Ago-18	0.26506	0.27146	0.30860	0.32175	0.16936	0.16730	0.19066	0.18796	0.04281	0.04956	0.09511	0.09918

Sep-18	0.24772	0.26133	0.29260	0.30804	0.16655	0.16705	0.19148	0.18938	0.05525	0.05142	0.10539	0.10221
Oct-18	0.24220	0.25166	0.28399	0.29506	0.16294	0.16628	0.18825	0.19013	0.03645	0.04484	0.08691	0.09580
Nov-18	-	0.24496	-	0.28830	-	0.16475	-	0.18987	-	0.04585	-	0.09615
Dic-18	0.24858	0.24539	0.27827	0.28113	0.16606	0.16450	0.17764	0.18295	0.07060	0.05353	0.08691	0.08691
Ene-19	-	0.24858	-	0.27827	-	0.16606	-	0.17764	-	0.07060	-	0.08691
Feb-19	0.45242	0.35050	0.50462	0.39145	0.29747	0.23177	0.32485	0.25125	0.29439	0.18250	0.35998	0.22345
Mar-19	0.64214	0.54728	0.68212	0.59337	0.46003	0.37875	0.47513	0.39999	0.51357	0.40398	0.56692	0.46345
Abr-19	0.43446	0.50967	0.46169	0.54948	0.29438	0.35063	0.30351	0.36783	0.30305	0.37034	0.34298	0.42329
May-19	0.40284	0.49315	0.39797	0.51393	0.26800	0.34080	0.26196	0.34687	0.27255	0.36306	0.28770	0.39920
Jun-19	0.39849	0.41193	0.39764	0.41910	0.26386	0.27541	0.26240	0.27596	0.26689	0.28083	0.28440	0.30503
Jul-19	0.34739	0.38291	0.34788	0.38116	0.22523	0.25236	0.22076	0.24837	0.20508	0.24817	0.20690	0.25967
Ago-19	0.32470	0.35686	0.31254	0.35269	0.21528	0.23479	0.20233	0.22850	0.16932	0.21376	0.15341	0.21490
sep-19	0.29730	0.32313	0.28351	0.31464	0.20589	0.21547	0.19168	0.20492	0.16266	0.17902	0.13977	0.16669
Oct-19	0.28742	0.30314	0.28202	0.29269	0.20034	0.20717	0.19264	0.19555	0.13923	0.15707	0.12105	0.13808
Nov-19	0.28494	0.28989	0.27784	0.28112	0.19379	0.20001	0.18669	0.19034	0.10553	0.13581	0.10047	0.12043
Dic-19	0.27591	0.28276	0.27112	0.27699	0.18488	0.19300	0.17893	0.18609	0.15293	0.13256	0.13757	0.11970

**a. Tendencia y comparación de la dinámica de cobertura vegetal a través del NDVI, área post incendio forestal y testigo.**

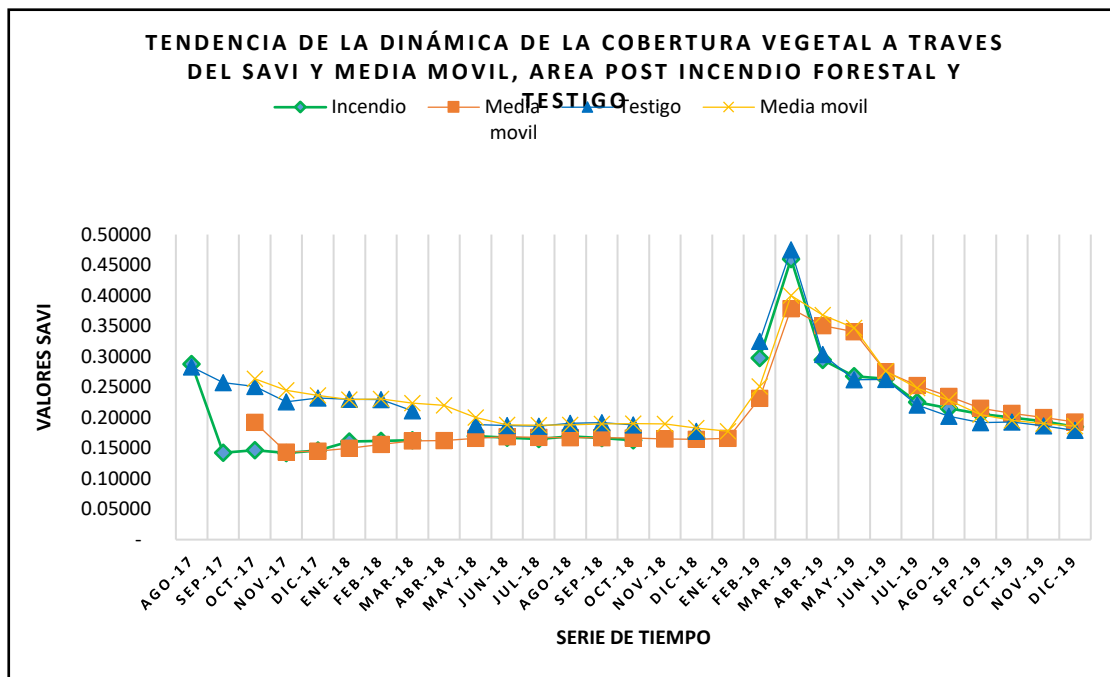
En la **Grafico N° 5**, se presenta las tendencias de la cobertura vegetal tanto en el área afectada y testigo, se puede apreciar el comportamiento de la vegetación en un periodo de tiempo desde agosto del 2017 hasta diciembre del 2019. La tendencia de la cobertura vegetal zona testigo disminuye gradualmente desde agosto 2017 hasta diciembre del 2018 con mínimas variaciones en este mes el NDVI zona testigo tiene similitud en el valor promedio mensual al NDVI zona post incendio forestal, en periodo seco ambas tendencias llegaron a su nivel más bajo y aumentan conjuntamente por el aumento de la biomasa causada por las altas precipitaciones registradas, así mismo con las escasas de lluvias el NDVI de ambas tendencias se reduce bruscamente dando a entender que estos valores altos de reflectancia los generaba los pastizales de corto tiempo de vida y así sucesivamente se reduce de forma gradual por la defoliación de los árboles este comportamiento es común en el ecosistema de bosque seco. Analizando el comportamiento de ambas tendencias podemos decir que la vegetación del área afectada se ha recuperado. Las tendencias de reflectancia del area afectada y testigo tienen similitu con su media móvil.



**Gráfico N° 5. Tendencia de la dinámica de la cobertura vegetal a través del NDVI y media móvil, área post incendio forestal**

**b. Tendencia y comparación de la dinámica de cobertura vegetal a través del SAVI, área post incendio forestal y testigo.**

El SAVI, índice de vegetación ajustado al suelo, su amplitud es menor que el NDVI, pero su discriminación de la vegetación es mayor, en el **Gráfico N° 6**, observamos la dinámica de la cobertura vegetal de ambos casos zona afectada y testigo, donde su comportamiento llega ser casi similares desde diciembre del 2018. Con el aumento de la biomasa causada por las precipitaciones registradas en el año 2019 los valores promedios del SAVI se elevaron y la dinámica de ambos casos siguen la misma tendencia, posteriormente se muestra un declive como respuesta de las herbáceas de corto tiempo de vida y empezaron a secarse disminuyendo la reflectancia. Las tendencias tienden a disminuir gradualmente por la defoliación natural del bosque, la dinámica de la vegetación de ambos casos en el año 2019 es similar concluyendo que la vegetación del área post incendio forestal se ha recuperado en un periodo de 2 años. Las tendencias del SAVI del área afectada y testigo se asemejan a las tendencias de la media móvil.

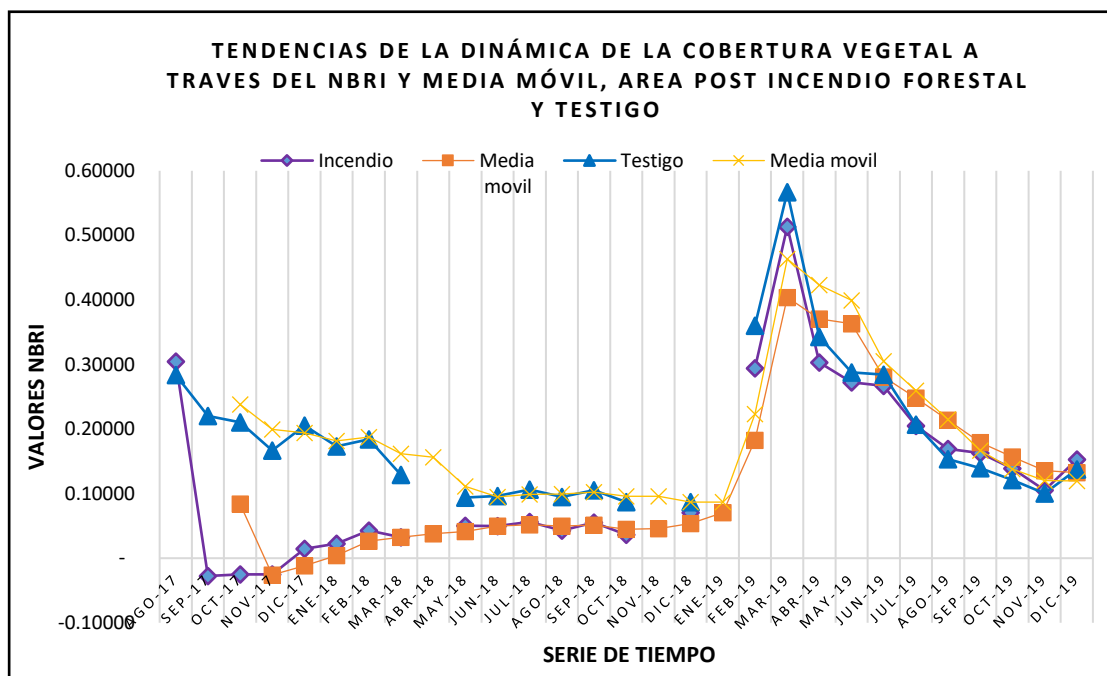


**Gráfico N° 6. Tendencias de la dinámica de la cobertura vegetal a través del SAVI y media móvil, área post incendio forestal y testigo**

**c. Tendencia y comparación de la dinámica de cobertura vegetal a través del NBRI, área post incendio forestal y testigo.**

En el **Grafico N° 7**, se muestra la dinámica de la cobertura vegetal de la zona afectada y testigo, el NBRI es muy sensible a la reflectancia de vegetación quemada y sus valores se reduce considerablemente, mientras que el testigo va reduciéndose de forma gradual mientras que el bosque se desfolia, se observa que el NBRI en zona afectada en diciembre del 2017 sus valores empieza a elevarse ese comportamiento se debe a las precipitaciones tenues registradas, ocasionando un aumento en la reflectancia por el lavado del suelo y la regeneración natural siendo muy sensible a estos cambios. Las tendencias de ambos casos se aproximan desde diciembre del 2018, el aumento de las reflectancias causadas por el aumento de la biomasa vegetal en respuesta a las altas precipitaciones registradas en 2019 tiene efecto en la reflectancia de la vegetación y como respuesta las tendencias tienden a elevarse, posteriormente existe un declive en abril del 2019 por la baja reflectividad de la vegetación temporal (pastizales), siguiendo la dinámica vegetal de ambas zonas de estudio las tendencias disminuyen de forma

gradual con valores similares, en diciembre del 2019 las precipitaciones leves a causado una mínima elevación en reflectancia de ambas zonas de estudio, concluyendo que para el Índice NBRI la vegetación se ha recuperado.



**Gráfico N° 7. Tendencias de la dinámica de la cobertura vegetal a través de NBRI y media móvil, área post incendio forestal y testigo**

**d. Relación de las precipitaciones con la dinámica de la cobertura vegetal área post incendio y testigo.**

La dinámica de la cobertura vegetal depende de varios aspectos, los factores meteorológicos tienen fuerte incidencia en el aumento de la biomasa vegetal y de la reflectancia del infrarrojo.

En el **Gráfico N° 8** se muestra la tendencia de las precipitaciones en una serie de tiempo desde agosto del 2017 hasta diciembre del 2019, se relaciona las precipitaciones con la reflectancia de la vegetación. En agosto de 2017, donde las precipitaciones cesaron, las tendencias de vegetación tienden a disminuir de manera gradual y el año 2018 las tendencias se mantuvieron constantes con mínimas variaciones. Finalmente, el año 2019 donde se registraron fuertes precipitaciones la vegetación como respuesta aumentó la reflectancia y las tendencias



tienden a elevarse, en conclusión, las precipitaciones tienen fuerte incidencia en el aumento de la biomasa vegetal.

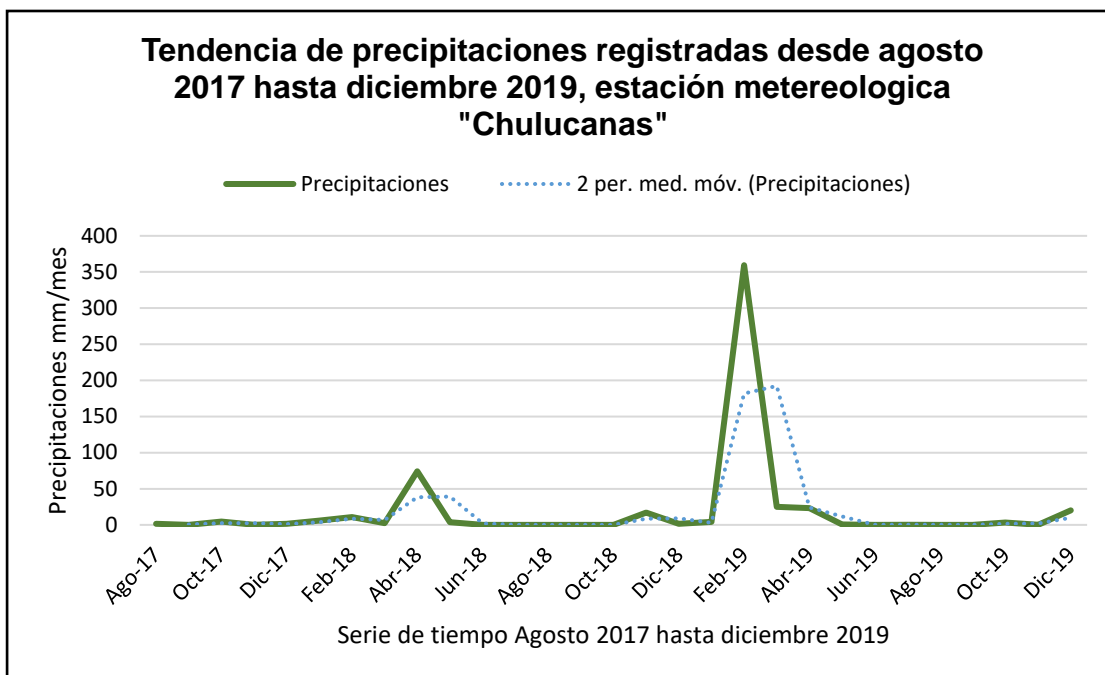


Gráfico N° 8. Tendencia de precipitaciones registradas desde agosto 2017 hasta diciembre 2019, estación meteorológica "Chulucanas"

### 3.1.3. Composición especies forestales

Durante la fase de campo se determinó la composición de especies forestales en diferentes estratos brinzal, latizal, fustal y arbóreo en el área del incendio forestal y testigo encontrándose 06 especies forestales agrupadas en 06 géneros y 04 familias.

Las especies forestales del **cuadro N° 10** se encontraron en las parcelas de estudio. El faique, overal y sapote son las especies más abundantes y resistentes a los efectos del incendio.

**Cuadro N°10. Especies forestales registradas en la zona de estudio - Km 34, CC. José Ignacio Távora Pasapera**

Familia	Nombre científico	Nombre común
BORAGINACEAE	<i>Cordia lutea Lam</i>	Overall
BURSERACEAE	<i>Bursera graveolens (Kunth) Triana &amp; Planchon 1872</i>	Palo santo
CAPPARACEAE	<i>Colicodendron scabridum (Kunth) Seem 1852</i>	Sapote
FABACEAE	<i>Acacia huarango (Ruiz ex J.F. Macbr)</i>	Faique rastrero
	<i>Parkinsonia aculeata L. 1753</i>	Palo verde
	<i>Prosopis pallida (H &amp; B. ex willd) Kunt</i>	Algarrobo



**Figura N° 23. Especie forestal overall en regeneración natural después del incendio forestal**



**Faique N° 2 4. Especie forestal sapote afectado por el incendio forestal**



**Figura N° 25. Especie forestal faique rastrero afectado por el incendio forestal**

## a. Abundancia absoluta y abundancia relativa

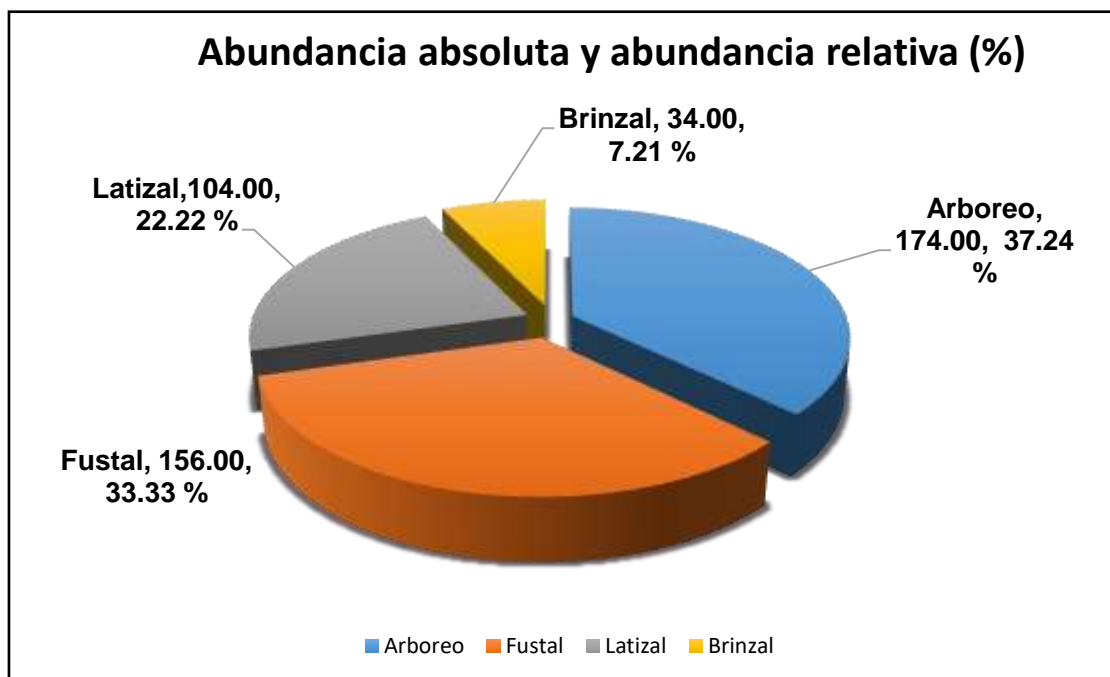
### Área del incendio forestal

Los resultados de abundancia del bosque seco de llanura en el área afectada por el incendio forestal de la Comunidad Campesina José Ignacio Távara Pasapera son de 468.00 individuos conformado por diferentes estratos como brinzales, latizales, fustales y arbóreo encontrándose especies tales como faique (*Acacia huarango*), algarrobo (*Prosopis pallida*), sapote (*Colicodendron scabridum*), overal (*Cordial lutea*), palo santo (*Bursera graveolens*) y palo verde (*Parkinsonia aculeata*).

**Cuadro N° 11. Abundancia absoluta y relativa de especies forestales registradas en el área del incendio forestal.**

Estratos	Abundancia Absoluta N° individuos	Abundancia Relativa (%)
Arbóreo	174.00	37.18
Fustal	156.00	33.33
Latizal	104.00	22.22
Brinzal	34.00	7.26
Total	468.00	100.00

El estrato arbóreo es el más abundante conformado por algarrobos, sapotes y algunos overales equivalente a 174 individuos (37.24 %) seguido por el estrato de fustales con 156 individuos (33.33 %), así mismo los latizales está conformado por 104 individuos (22.22 %) y finalmente se evaluó la regeneración natural conformado por faiques encontrándose 34 individuos (7.21 %), estos datos se obtuvieron evaluando 7 ha dividido en 14 subparcelas de 0.5 ha.



**Gráfico N° 9. Abundancia absoluta y relativa de especies forestales área afectada por el incendio forestal**

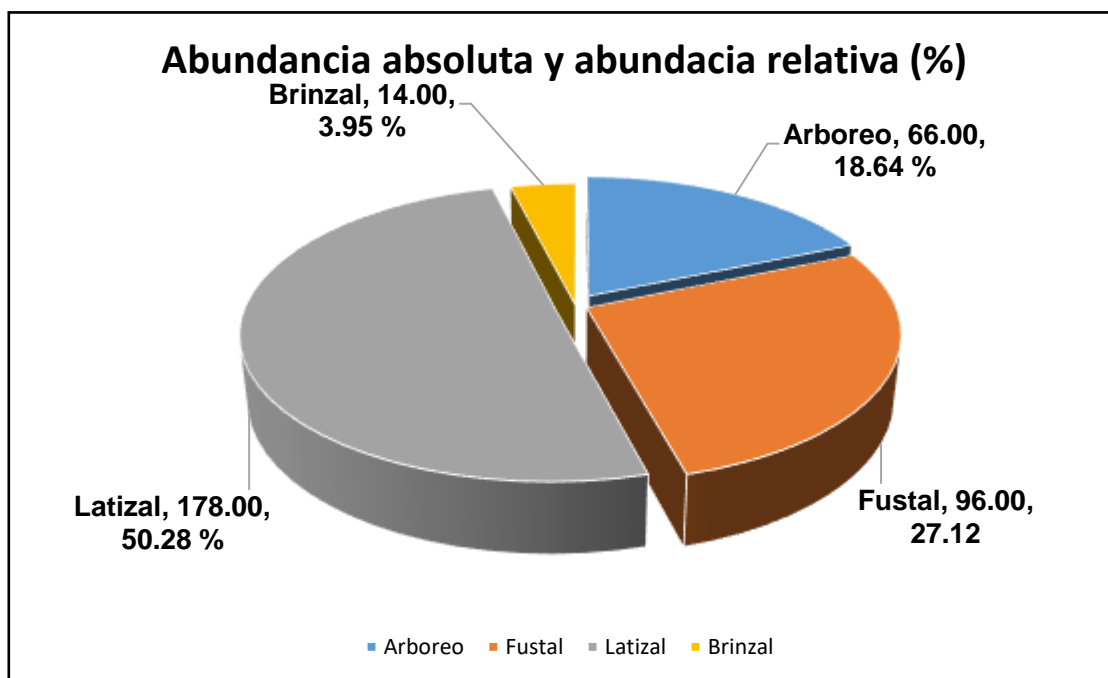
### Área testigo

El resultado de esta unidad de muestreo, anexo al área afectada por el incendio forestal nos muestra una abundancia de 354.00 individuos conformado por los diferentes estratos tales como brinzales, latizales, fustales y arbóreo, las especies más representativas es el Faique rastrero (*Acacia huarango*) y Sapote (*Colicodendron scabridum*), en menor cantidad Algarrobo (*Prosopis pallida*) y Overal (*Cordia lutea*)

**Cuadro N° 12. Abundancia absoluta y relativa de especies forestales registradas en el área testigo**

Estrato	Abundancia absoluta N° individuos	Abundancia relativa (%)
Arbóreo	66.00	18.64
Fustal	96.00	27.12
Latizal	178.00	50.28
Brinzal	14.00	3.95
Total	354.00	100.00

La composición de esta parte del bosque tiene una particularidad, la densidad de estrato arbóreo es rala encontrándose 66 individuos (18.64 %), predominando especies de tamaño regular como fustales 96 individuos (27.12 %) y latizales 178 individuos (50.28 %), finalmente la regeneración es muy escasa por falta de precipitaciones 14 individuos (3.95 %).



*Gráfico N° 10. Abundancia absoluta y relativa de especies forestales del área testigo*

## **b. Densidad de especies**

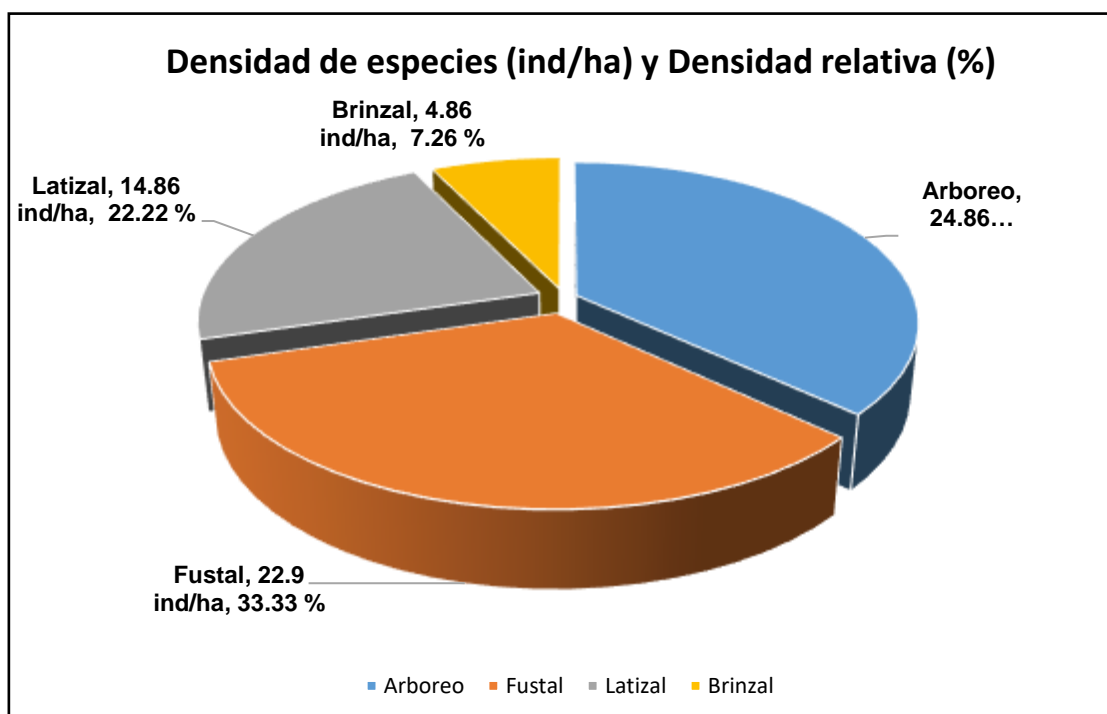
### **Área del incendio forestal**

La densidad poblacional nos indica el número de especies en cada estrato en el área afectada por el incendio forestal en la Comunidad Campesina José Ignacio Távara Pasapera se registró 66.6 ind/ha. (Ver **Cuadro N° 13**).

**Cuadro N° 13. Densidad absoluta y relativa de las especies forestales registradas en el área afectada por el incendio forestal**

Estrato	Densidad (ind/ha)	Densidad relativa (%)
Arbóreo	24.86	37.18
Fustal	22.29	33.33
Latizal	14.86	22.22
Brinzal	4.86	7.26
Total	66.60	100

La densidad de las especies encontradas en el área afectada por el incendio forestal nos indica la predominancia del estrato arbóreo 24.86 ind/ha (37.18 %), así mismo los fustales con un total de 22.9 ind/ha (33.33%), los estratos con menor presencia son los latizales representa 14.86 ind/ha (22.22 %) y brinzales 4.86 ind/ha (7.26 %).



**Gráfico N° 11. Densidad y densidad relativa de especies forestales en el área afectada por el incendio forestal**

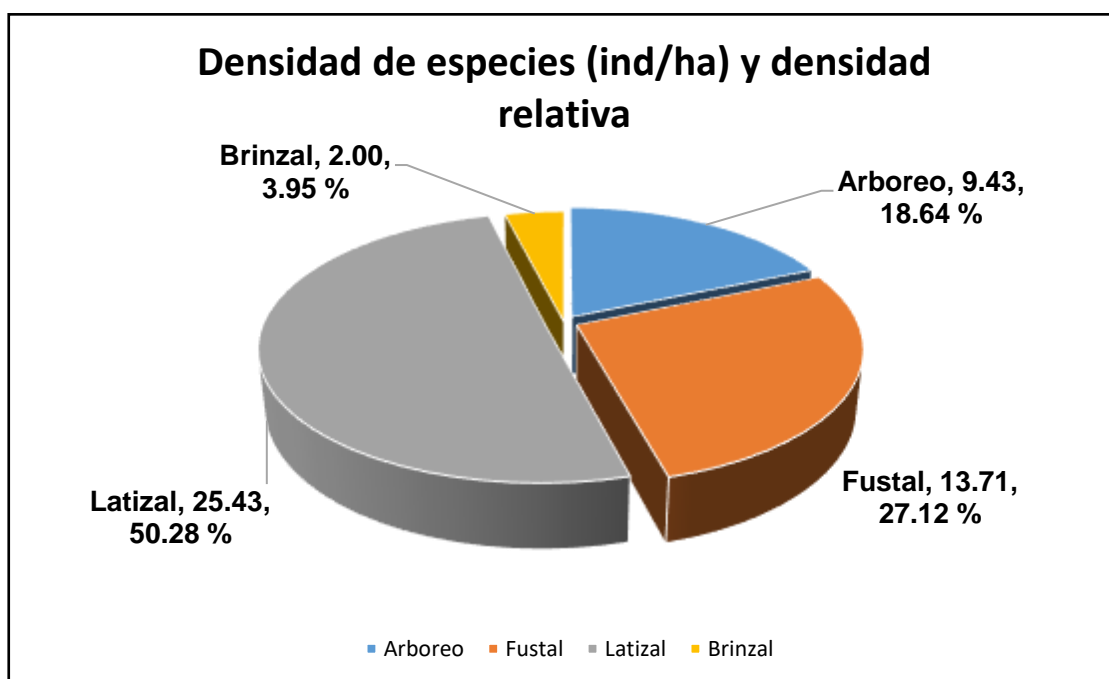
## Área testigo

La densidad poblacional nos indica el número de individuos en un área determinada, en este caso en el área testigo la densidad es de 50.57 individuos / has.

**Cuadro N° 14. Densidad absoluta y relativa de las especies registradas en el área testigo**

Estrato	Densidad (ind/ha)	Densidad relativa (%)
Arbóreo	9.43	18.64
Fustal	13.71	27.12
Latizal	25.43	50.28
Brinzal	2.00	3.95
Total	50.57	100.00

La predominancia del estrato latizal 25.43 ind/ha (50.28 %) y fustal 13.71 (27.12 %), nos indica que es un bosque ralo donde predomina arboles pequeños y arbustivos, el estrato arbóreo es poco denso encontrándose 9.43 ind/ha (18.64 %), los brinzales que representan vegetación de regeneración natural es muy escaza representando 2 ind/ha (3.95 %).



**Gráfico N° 12. Densidad y densidad relativa de las especies forestales en el área testigo**



### c. Cobertura

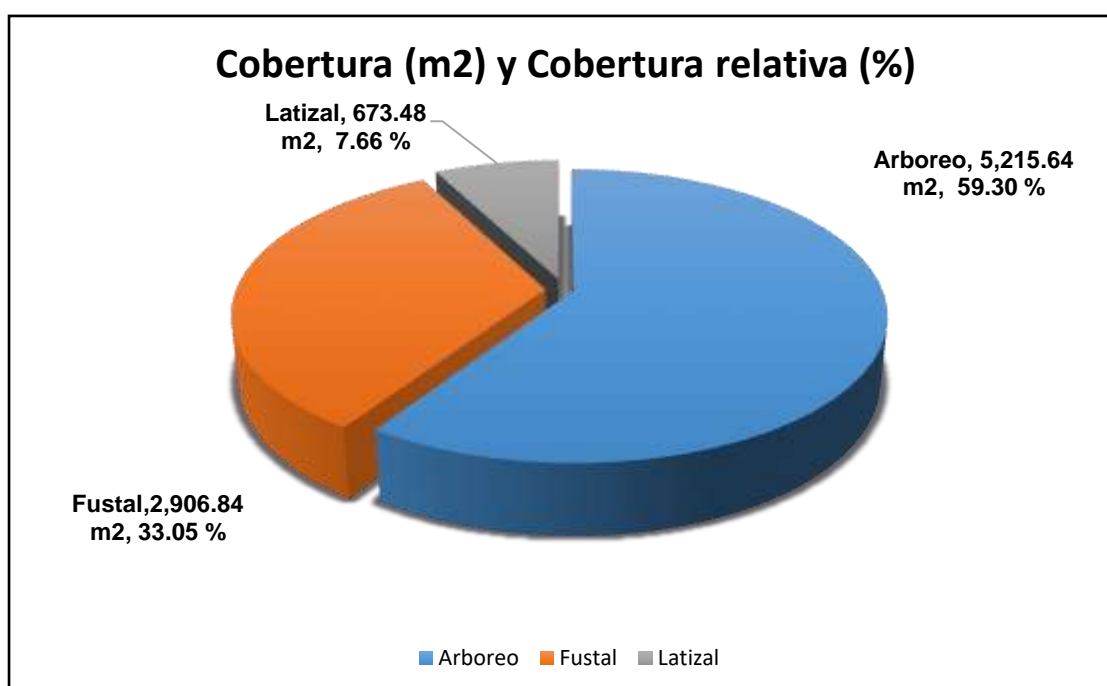
#### Área del incendio forestal

La zona del área afectada por el incendio forestal se observó la poca cobertura vegetal que contiene el bosque seco de llanura, (**cuadro N° 14**), del total del área evaluada el 12.57 % representa la proyección de la copa de la vegetación.

**Cuadro N° 15. Cobertura y cobertura relativa de las especies forestales registradas en el área afectada por el incendio forestal**

Estrato	Cobertura (m2)	Cobertura del área total (%)	Cobertura relativa (%)
Arbóreo	5215.64	7.45	59.30
Fustal	2906.84	4.15	33.05
Latizal	673.48	0.96	7.66
Brinzal	0.00	0.00	0
Total	8795.95	12.57	100.00

El estrato arbóreo posee la mayor cobertura vegetal con 5,215.64 m<sup>2</sup> (59.30 %), seguido por los fustales con 2,906.84 m<sup>2</sup> (33.05 %), finalmente el estrato de latizales representa 673.48 m<sup>2</sup> (7.66 %).



**Gráfico N° 13. Cobertura y cobertura relativa de especies forestales registradas en el área afectada por el incendio forestal**



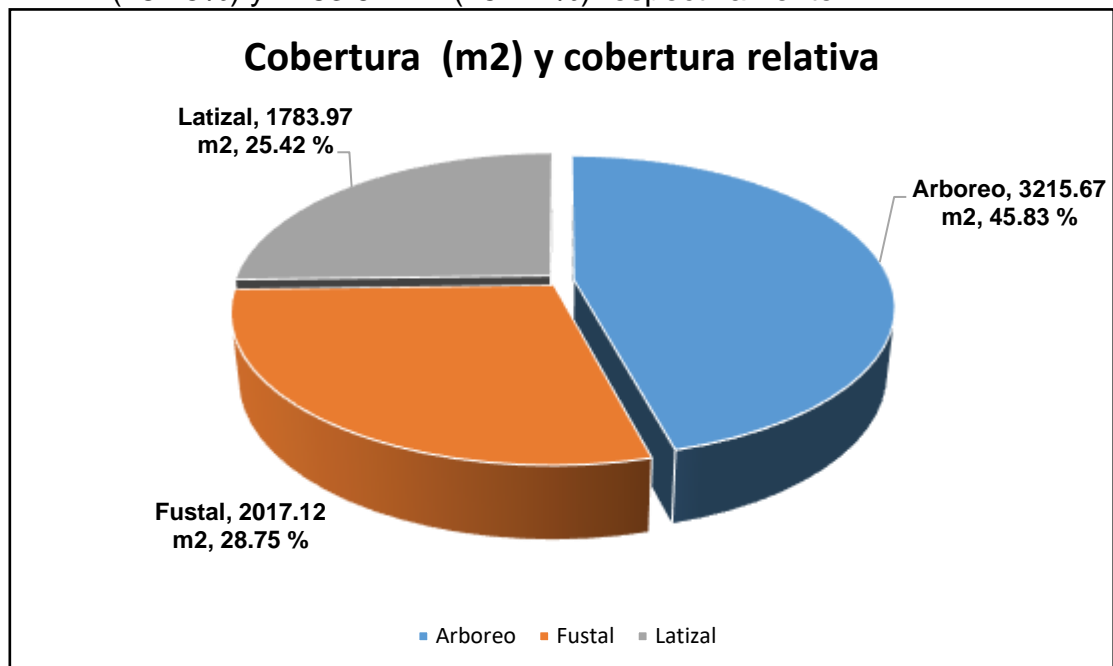
## Área testigo

En el área testigo la proyección de la copa de la vegetación equivale 10.02 % de las 7 hectáreas evaluadas, considerándose un bosque de cobertura vegetal ralo, los latizales en esta zona en comparación a la evaluación realizada en el área afectada por el incendio forestal influyen significativamente en la proyección de la copa. (Ver **cuadro N° 15**).

**Cuadro N° 16. Cobertura y cobertura relativa de las especies forestales registradas en el área testigo**

Estrato	Cobertura (m <sup>2</sup> )	Cobertura del área total (%)	Cobertura relativa (%)
Arbóreo	3215.67	4.59	45.83
Fustal	2017.12	2.88	28.75
Latizal	1783.97	2.55	25.42
Brinzal	0.00	0.00	0.00
Total	7016.76	10.02	100.00

El estrato arbóreo cuya proyección de copa es mayor a los otros estratos equivales 3,215.67 m<sup>2</sup> representa el 45.83 %, los estratos de fustales y latizales cuya predominancia es mayor equivale a 2017.12 m<sup>2</sup> (28.75%) y 1783.97 m<sup>2</sup> (25.42 %) respectivamente.



**Gráfico N° 14. Cobertura y cobertura relativa de especies forestales en el área testigo**

### 3.2. DISCUSIÓN

Con respecto al análisis multitemporal las tendencias obtenidas tienen relación con el estudio de Carvacho & Sánchez,( 2010), comparó índices de vegetación entre ellos el NDVI y SAVI Región del Libertador General Bernardo O´Higgins, Chile, donde determina el comportamiento de la cobertura vegetal en dos periodos de tiempo verano e invierno en los años 2001, 2003 y 2005, obteniendo en los índices semejanza entre sí en invierno que en verano, el NDVI muestra valores más elevados en comparación a los otros índices y el SAVI tiene un comportamiento similar al NDVI, estos resultados tienen relación con nuestra investigación donde los valores del NDVI son mayores al SAVI aunque tienen la misma forma de la tendencia. Caraveo, (2013), analizo la severidad del incendio en municipio de Ocampo, Coahuila, México entre agosto y octubre del 2011, evaluaron los valores medios del área afectada mostrando un incremento del NDVI después del incendio forestal ocurrido en junio 2011, estos resultados tienen relación con nuestra investigación, donde mostramos un aumento en los valores medios de los índices de vegetación en el año 2019.

En el estudio que realizo Ariza, (2017), muestra resultados sobre el incendio en Guadalajara donde la evolución del NBRI, durante el periodo del incendio alcanzo valores negativos de -0.417 y máximos de hasta 0.749 en el año 2013, observándose una recuperación no homogénea, lo que indica que el NBRI es muy sensible a la reflectancia de la vegetación, estos resultados concuerda con nuestra investigación donde obtuvimos valores negativos durante el incendio con un valor promedio de -0.0275 y máximos de hasta 0.514 en Marzo del 2019. En otro estudio relacionado Navarro, et al, (2017), nos dice que el NBRI permite discriminar significativamente los incendios forestales, en comparación con el NDVI ambos índices muestra valores positivos en presencia de vegetación y disminuyen al mismo tiempo a medida de que aumenta la severidad del incendio, estudio realizado en la isla madeira – Portugal, estos resultados son similares a nuestro estudio donde el NBRI muestra

mayor capacidad en discriminar la vegetación tras un incendio forestal en comparación a los otros índices en estudio.

En ambos estudios nos muestra la capacidad de discriminación de los índices de vegetación y tiene una fuerte relación con los factores meteorológicos, la vegetación luego de un incendio forestal tienden a recuperarse por acciones de la naturaleza siendo las precipitaciones el principal factor aumentando la actividad fotosintética y su reflectancia, esto concuerda con el estudio de Guerrero & Campos, (2017), donde evaluó la evolución de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Cerros de Amotape y Reserva Nacional de Tumbes aplicando el índice NDVI desde el año 2000 hasta 2015, los resultados de clasificación de la cobertura vegetal se ven influenciados por las precipitaciones, su extensión aumenta en los años donde se registró mayor precipitación.

La composición florística de ambas zonas de estudio es semejante, los bosques secos normalmente son de baja densidad de vegetación obteniendo resultado entre 51 ind/ha y 67 ind/ha respectivamente. Los resultados en la reflectancia de la vegetación dependen del estado natural de las hojas relacionándose con la extensión de la proyección de la copa cuyos valores obtenidos son similares que van entre 7016.76 m<sup>2</sup> y 8795.95 m<sup>2</sup> esto equivale el 10.02 % y 12.57 % de espacio con cobertura vegetal, estos resultados se asemeja al estudio Culquicondor, (2010), realizado en los bosques secos aledaño al Santuario Regional de Manglar de San Pedro de Vice cuya cobertura vegetal ocupado por la vegetación evaluada es de 7.27 %.

La obtención de los índices espectrales de vegetación se realizó mediante el procesamiento de imágenes satelitales ópticas de la misión Sentinel 2 cuyos sensores (Sentinel – 2 A y Sentinel 2 B), Navarro, et al, (2017) recomienda la utilización de imágenes Sentinel- 2 por su mejor resolución espacial y temporal en comparación de otros satélites como el Landsat o SPOT, optándose como una alternativa de información precisa, solida, oportuna y de fácil acceso para determinar la dinámica, recuperación de incendios forestales en todo el mundo.

## CAPITULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

- El NDVI (Índice de diferencia normalizada) registro valores que fluctúan entre 0.23783 – 0.64214, representando la dinámica natural del bosque, la interferencia de la reflectancia del suelo no interfiere significativamente en sus valores.
- El SAVI (índice ajustado al suelo), registró valores entre 0.14204 – 0.46003, representando la dinámica natural del bosque, al ajustarse al suelo pierde su amplitud, pero el comportamiento de su tendencia tiene similitud al NDVI.
- EL NBRI (índice de relación de quemado normalizado), registró valores entre -0.02753 – 0.51357, representando la dinámica natural del bosque, tiene mayor capacidad de discriminación por su sensibilidad a los cambios repentinos de reflectancia.
- El análisis multitemporal de la cobertura vegetal afectada muestra similitud en la forma de las tendencias de los índices con valores de reflectancias distintos.
- La recuperación del bosque depende del comportamiento de las especies forestales frente al incendio forestal, las precipitaciones conllevaron al aumento de la biomasa vegetal siendo el principal factor en su recuperación.
- Se demostró la recuperación natural del área afectada al compararse tendencias con un testigo, sus valores promedios mensuales de

reflectancia se asemejan en un periodo de 2 años, demostrando ser un bosque resiliente a efectos del incendio.

#### 4.2. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios sobre la capacidad y comportamiento de especies forestales de bosque seco de llanura resistentes a incendios forestales.
- Realizar estudios sobre el grado de intensidad del incendio forestal utilizando imágenes satelitales Sentinel 2, a través del uso del SIG y percepción remota.
- Obtener imágenes satelitales con menor porcentaje de nubosidad
- Aplicación de imágenes satelitales Sentinel para estudios en pequeña escala, su resolución temporal y espacial ayuda a determinar varios factores en agricultura, degradación de suelos, cobertura vegetal, etc., según su aplicación

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alencar, K., Parodi, M., Silva, R., & Opazo, D. (2019). Variabilidad espacial y temporal de la cobertura vegetal de los años 1984 a 2011 en la cuenca hidrográfica del río Moxoto, Pernambuco, Brasil. *Diálogo andino*(58), 139 - 150. doi:10.4067/S0719-26812019000100139
- Ariza, A. (2017). *Análisis de los cambios en la estructura del paisaje por incendios forestales mediante teledetección (Tesis Doctoral)*. Madrid: , Universidad de Alcalá.
- Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral. (2004). *Unidades piloto demostrativas para el desarrollo de las poblaciones campesinas del bosque seco*. AIDER.
- Beltrán, D. (2017). *Aplicación de índices de vegetación para evaluar procesos de restauración ecológica en el parque forestal embalse del neusa (Tesis de pregrado)*. Bogotá D.C: , Universidad Militar Nueva Granada.
- Bense, T. (2007). *Sextas jornadas de educación en percepción remota en el ámbito del Mercosur y primeras Uruguayas*.

- Bravo, N. (2017). *Teoría - Teledetección Espacial, Landsat, Sentinel-2, Aster 1L y Modis*. Huánuco, Perú: Geomática Ambiental S.R.L.
- Cai, Z. (2019). *Vegetation Observation in the Big Data Era : Sentinel - 2 data for mapping the seasonality of land vegetation*. Lund University , Faculty of Science, Department of Physical Geography and Ecosystem Science, Lund.
- Caraveo, A. (2013). *Evaluación de la recuperación vegetal en áreas con distinta severidad de fuego usando teledetección: caso de estudio, Municipio de Ocampo, Coahuila*. Juárez: (Licenciado en Geoinformática), Universidad Autónoma de CD. Juárez.
- Carvacho, L., & Sánchez, M. (2010). Comparación de índices de vegetación a partir de imágenes MODIS en la Región del Libertador Bernardo O' Higgins, Chile, en el período 2001-2005. *Tecnologías de la información Geográfica: La información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, 728 - 737.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (2002). *Inventarios Forestales para Bosques Latifoliados en America Central* (Orozco, Lorena; Brumér, Cecilia ed.). Turrialba, Costa Rica.
- Chuvienco, E. (1991). Fundamentos de la teledetección espacial. *Estudios Geográficos*, 52(203), 371.
- Colditz, R. (2007). *Time Series Generation and Classification of MODIS Data for Land Cover Mapping*. Doctoral Thesis, Universität Würzburg, Philosophische Fakultät (Histor., philolog., Kultur- und geograph. Wissensch.). Obtenido de <https://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/frontdoor/index/index/docId/2221>
- Comisión Nacional Forestal. (2010). *Incendios Forestales : Guía práctica para comunicadores* (Tercera ed.). (L. Cárdenas, Ed.) San Juan de Ocatán, Jalisco, Zapopan: Efecto Marketing. Obtenido de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/236Gu%C3%ADa%20pr%C3%A1ctica%20para%20comunicadores%20-%20Incendios%20Forestales.pdf>
- Culquicondor, W. (2010). *Estructura vegetal del bosque seco aledaño al Santuario Regional de Manglar de San Pedro Vice, Sechura - Piura 2008*. Piura: (Tesis de pregrado), Universidad Nacional de Piura.
- De Santis, A., & Vaughan, P. (2009). Revisión de las técnicas de identificación cartográfica de áreas quemadas. *Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvimento Rural (IBADER)*(5), 93 - 100. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3173499>

- Di Bella, C., de los Angeles, M., & Mari, N. (2008). Teledetección satelital y fuego en áreas naturales. *Sitio Argentino de Produccion Animal*, 18(104), 1 - 8. Obtenido de [http://www.produccion-animal.com.ar/incendios\\_y\\_uso\\_del\\_fuego/58-DiBella\\_etal2008-CienciaHoy.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/incendios_y_uso_del_fuego/58-DiBella_etal2008-CienciaHoy.pdf)
- Durán, P. (2018). *Manual de campo: Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre del Perú*. (P. Durán, Ed.) Lima.
- ESA. (2020). *Sentinel Online*. Recuperado el 18 de Enero de 2020, de <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>
- Fernández, I., Morales, N., Olivares, L., Salvatierra, J., Gómez, M., & Montenegro, G. (2010). *Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales*. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. Obtenido de [https://www.conaf.cl/wp-content/files\\_mf/1361883164restauraci%C3%B3n.pdf](https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1361883164restauraci%C3%B3n.pdf)
- Guerrero, E., & Campos, A. (2017). *Evaluación de la evolución de la cobertura vegetal a través del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en el Parque Nacional Cerros de Amotape y Reserva Nacional de Tumbes en el periodo 2000 - 2015 (Tesis de Pregrado)*. Tumbes: Universidad Nacional de Tumbes.
- Halme, P., Allen, K., Aunins, A., Bradshaw, R., Brumelis, G., Cada, V., . . . Jonsson, B. (2013). Challenges of ecological restoration: Lessons from forests in northern Europe. *Biological Conservation*, 167, 248 - 256. doi:doi.org/10.1016/j.biocon.2013.08.029
- Huete, A. (1988). Huete, A.R.A soil - adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment. *Remote sensing of environment*(25), 295 - 309. doi:10.1016/0034-4257(88)90106-X
- Instituto Nacional de Desarrollo Urbano; Proyecto Comité Ejecutivo de Reconstrucción de El Niño; Municipalidad Provincial De Morropon Chulucanas; Programa de Las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2000). *Plan Director de la Ciudad de Chulucanas: Mapa de Peligros, Plan de Usos del Suelo y Plan de Mitigación ante Desastres de la Ciudad de Chulucanas*. Lima.
- Koch, B. (2012). La télédétection et son utilisation dans les Évaluations forestières nationales (EFN). *Répertoire des connaissances sur évaluations des ressources forestières nationales, catalogue de la FAO*.
- Kometer, R. (2012). *Diagnóstico Forestal Región Piura*. Piura: Gobierno Regional de Piura y GIZ.



- Manrique, E. (1999). Índices de vegetación. Aplicación del NDVI. *Teledetección. Avances y Aplicaciones. VIII Congreso Nacional de Teledetección*, 217 - 219. Obtenido de <http://dns2.aet.org.es/congresos/viii/alb52.pdf>
- Martínez, S., Chuvieco, E., Aguado, I., & Salas, J. (2017). Severidad y regeneración en grandes incendios forestales: análisis a partir de series temporales de imágenes Landsat. *Revista de Teledetección*(49), 17 - 32. doi:10.4995/raet.2017.7182
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Guía de inventario de la flora y vegetación* (Primera ed.). (V. y. Ministerio del Ambiente. Dirección General de Evaluación, Ed.) Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Memoria descriptiva: Mapa Nacional de Cobertura Vegetal* (Primera ed.). (V. y. Ministerio del Ambiente. Dirección General de Evaluación, Ed.) Lima, Perú. Obtenido de [http://geoservidor.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/memoria\\_descriptiva\\_cobertura\\_vegetal.pdf](http://geoservidor.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/memoria_descriptiva_cobertura_vegetal.pdf)
- Montealegre, A., Lamelas, M., Tanase, M., & de la Riva, J. (2017). Estimación de la severidad en incendios forestales a partir de datos LIDAR-PNOA y valores de Composite Burn Index. *Revista de Teledetección*(49), 1 - 16. doi:10.4995/raet.2017.7371
- Montorio, R., Pérez, R., García, A., Vlassova, L., & De la Riva, J. (2014). La severidad del fuego: Revisión deo conceptos, métodos y efectos ambientales. *Geología, cambio ambiental y pasaje: homenaje al profesor José María Garcia*, 427 - 440.
- Muñoz, P. (2013). *Apuntes de Teledetección : índices de vegetación*. Centro de Información de Recursos Naturales, Chile. Ministerio de agricultura . Obtenido de <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26389/Tema%20Indices%20de%20vegetaci%C3%B3n,%20Pedro%20Mu%C3%B1oz%20A.pdf?sequence=1>
- Nalvarte, W., & García, E. (2010). *Instructivo de campo: Instalación de parcelas permanentes de medición*. Puerto Maldonado.
- NASA. (18 de Enero de 2020). *Applied Remote Sensing Training*. Obtenido de <https://arset.gsfc.nasa.gov/webinars/fundamentals-remote-sensing>
- Navarro, G., Caballero, I., Silva, G., Parra, P.-C., Vázquez, Á., & Caldeira, R. (2017). Evaluation of forest fire on Madeira Island using Sentinel-2A MSI imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and*, 58, 97 - 106. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.02.003>

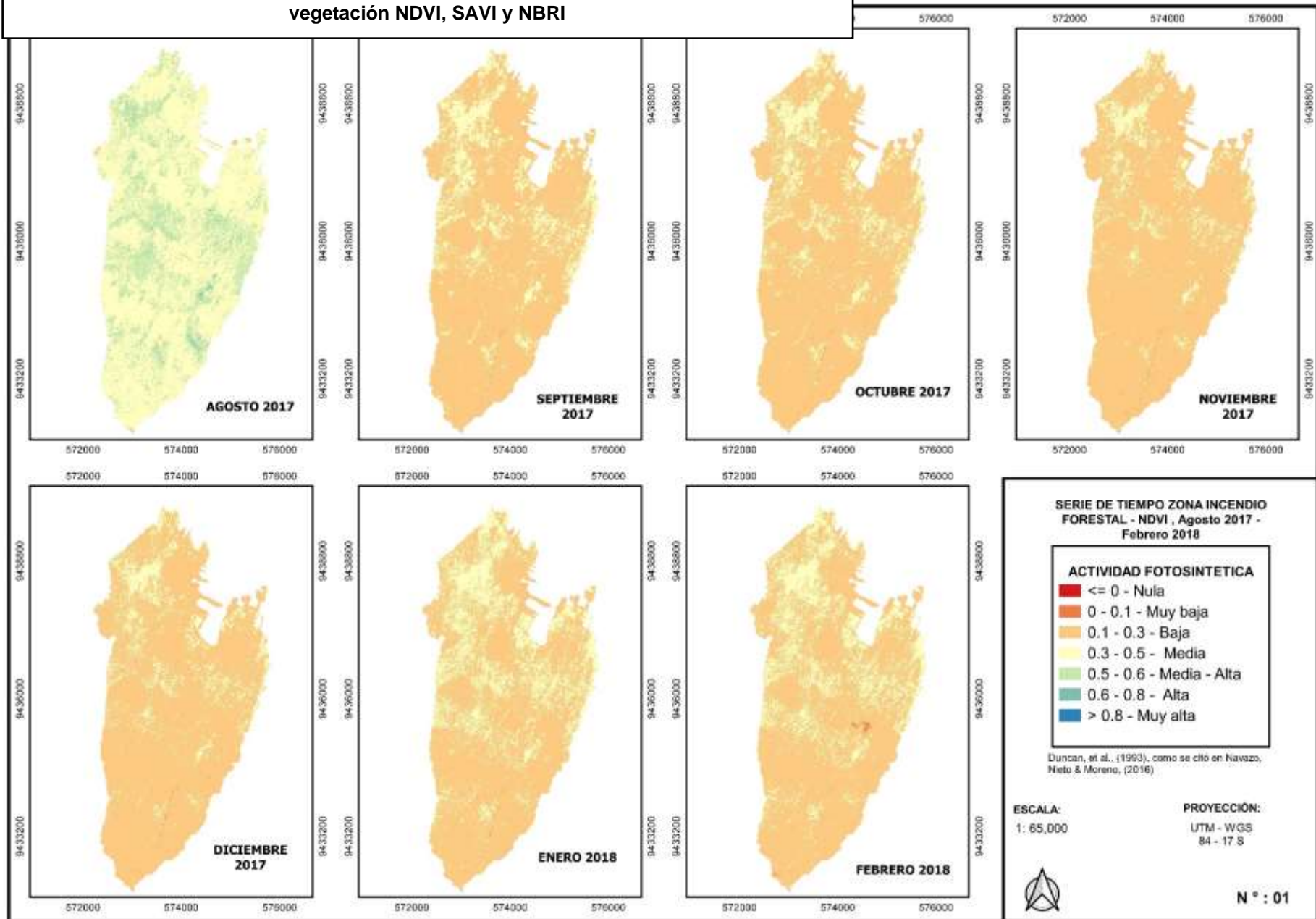


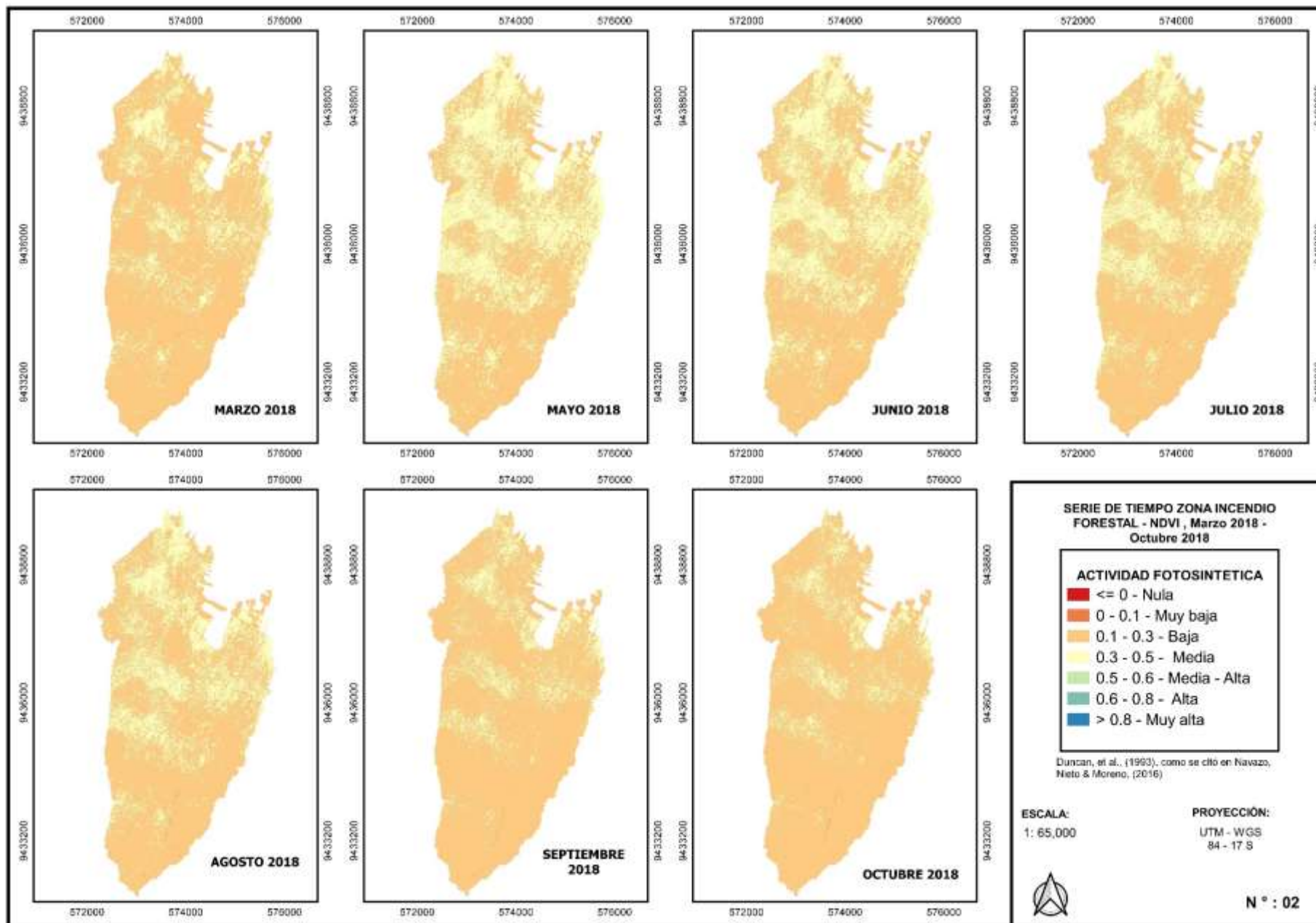
- Navarro, R., Olave, F., Hayas, A., & Castillo, M. (2015). Metodología para la elaboración de un plan de restauración postincendio en Chile: la experiencia del Parque Nacional de Torres del Paine. *Anales Instituto Patagonia*, 43(1), 53 - 57. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-686X2015000100005>
- Navazo, G., Nieto, A., & Moreno, G. (2016). Análisis de incendios forestales mediante sistemas de información geográfica y teledetección. Estudio de caso en sierra de gata (2015). *Tecnologías de la Información Geográfica en el Análisis Espacial. Aplicaciones en los Sectores Público, Empresarial y Universitario*, 247 - 268. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5776243>
- Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre. (2018). *Aprovechamiento forestal maderables en bosques secos en el norte del Perú* (Primera ed.). (J. Blas, N. Tapia, R. Vasquez, & C. Candia, Edits.)
- Palmer, M., Zedler, J., & Falk, D. (2016). Ecological Theory and Restoration Ecology. *Foundations of Restoration Ecology*, 3 - 26. doi:[doi.org/10.5822/978-1-61091-698-1\\_1](https://doi.org/10.5822/978-1-61091-698-1_1)
- Peña, M., & Ulloa, J. (2017). Mapeo de la recuperación de la vegetación quemada mediante la clasificación de índices espectrales pre- y post-incendio. *Revista de Teledetección*, 50, 37- 48. doi:[10.4995/raet.2017.7931](https://doi.org/10.4995/raet.2017.7931)
- Proaño, R., & Duarte, N. (2018). *Guía para la Restauración de Bosques Montanos Tropicales, Modulo 1: Planificación para la Implementación de Prácticas de Restauración a Escala Local*. Quito, Ecuador.
- Rivera, C., Mattar, C., & Durán-Alarcón, C. (2017). Tendencia de la cobertura vegetal afectada por incendios forestales en el Parque Nacional Torres de Paine. *Revista de Teledetección*(50), 71 - 87. doi:[10.4995/raet.2017.7422](https://doi.org/10.4995/raet.2017.7422)
- Sabuco, p. (2013). La problemática de los incendios forestales y bases para su teledetección en el Perú. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 03 (2).
- SENAMHI. (18 de Enero de 2020). *Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>
- SERFOR. (26 de octubre de 2018). *SERFOR*. Obtenido de <https://www.serfor.gob.pe/noticias/minagri-presenta-plataforma-de-focos-de-calor-y-coordina-acciones-de-prevencion-de-incendios-forestales-en-piura>

- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2016). *Marco Metodológico del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre* (Segunda ed.). (M. Cuba, Ed.)
- Servicio Nacional Forestal y Fauna Silvestre. (2018). *Lineamientos para la Restauración de Ecosistemas Forestales y otros Ecosistemas de Vegetación Silvestre aprobado mediante R.D.E N° 083-2018-MINAGRI-SERFOR-DE*. Lima, Perú. Obtenido de <https://www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2018/05/Lineamientos%20restauracion.pdf>
- Servicio Nacional Forestal y Fauna Silvestre. (2018). *Plan de Prevención y Reducción de Riesgos de Incendios Forestales Periodo 2019 - 2022*. Obtenido de <https://www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2018/12/Plan-de-prevenci%C3%B3n-y-reducci%C3%B3n-de-riesgos-de-incendios-forestales.pdf>
- Servicion Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. (2016). *Manual para control de incendios forestales* .
- Zerda, H., & Tiedemann, J. (2010). Dinámica temporal del NDVI del bosque y pastizal natural en el Chaco Seco de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Ambiência*, 6(1), 13 - 24. Obtenido de <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/971/971>

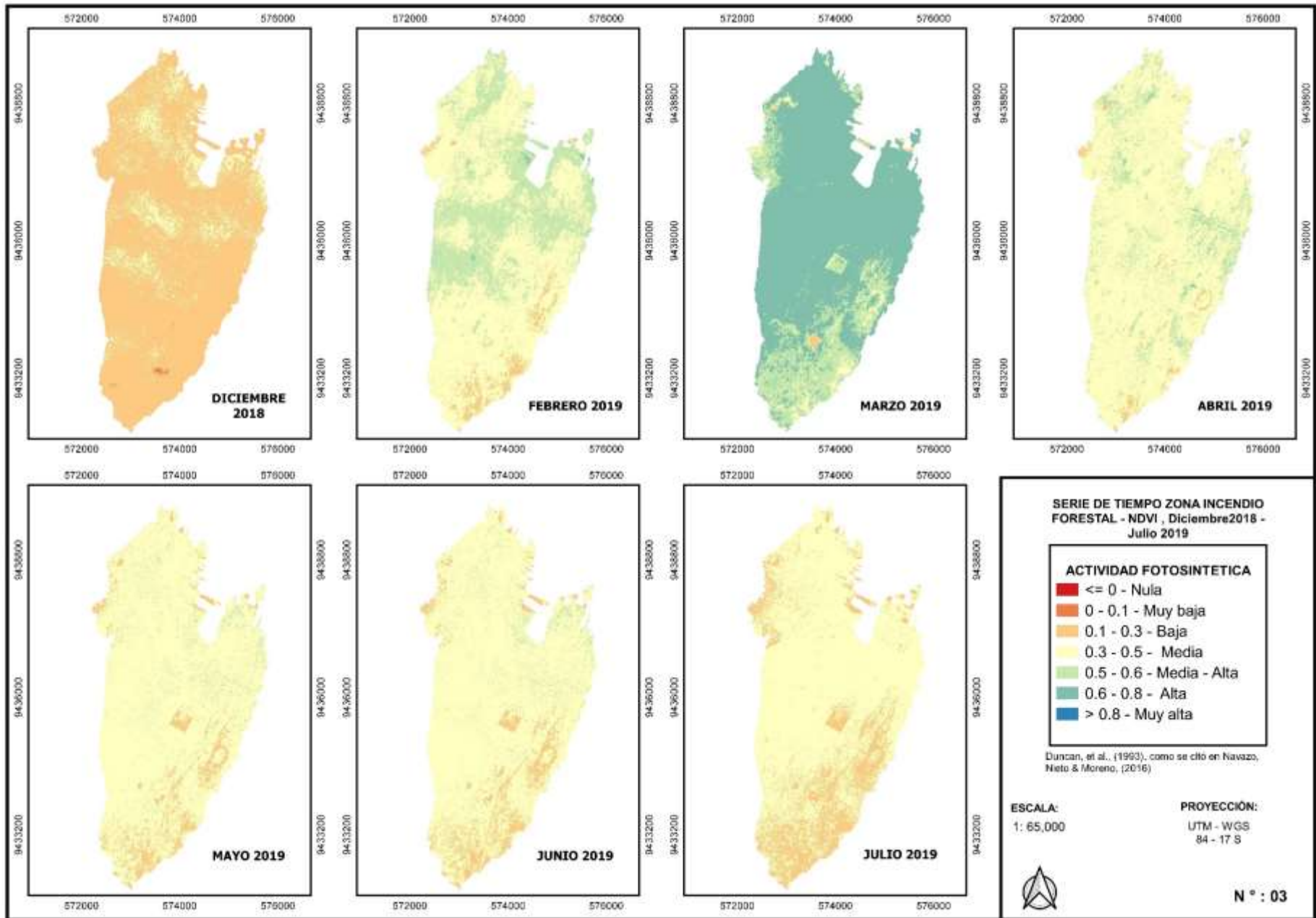
# ANEXOS

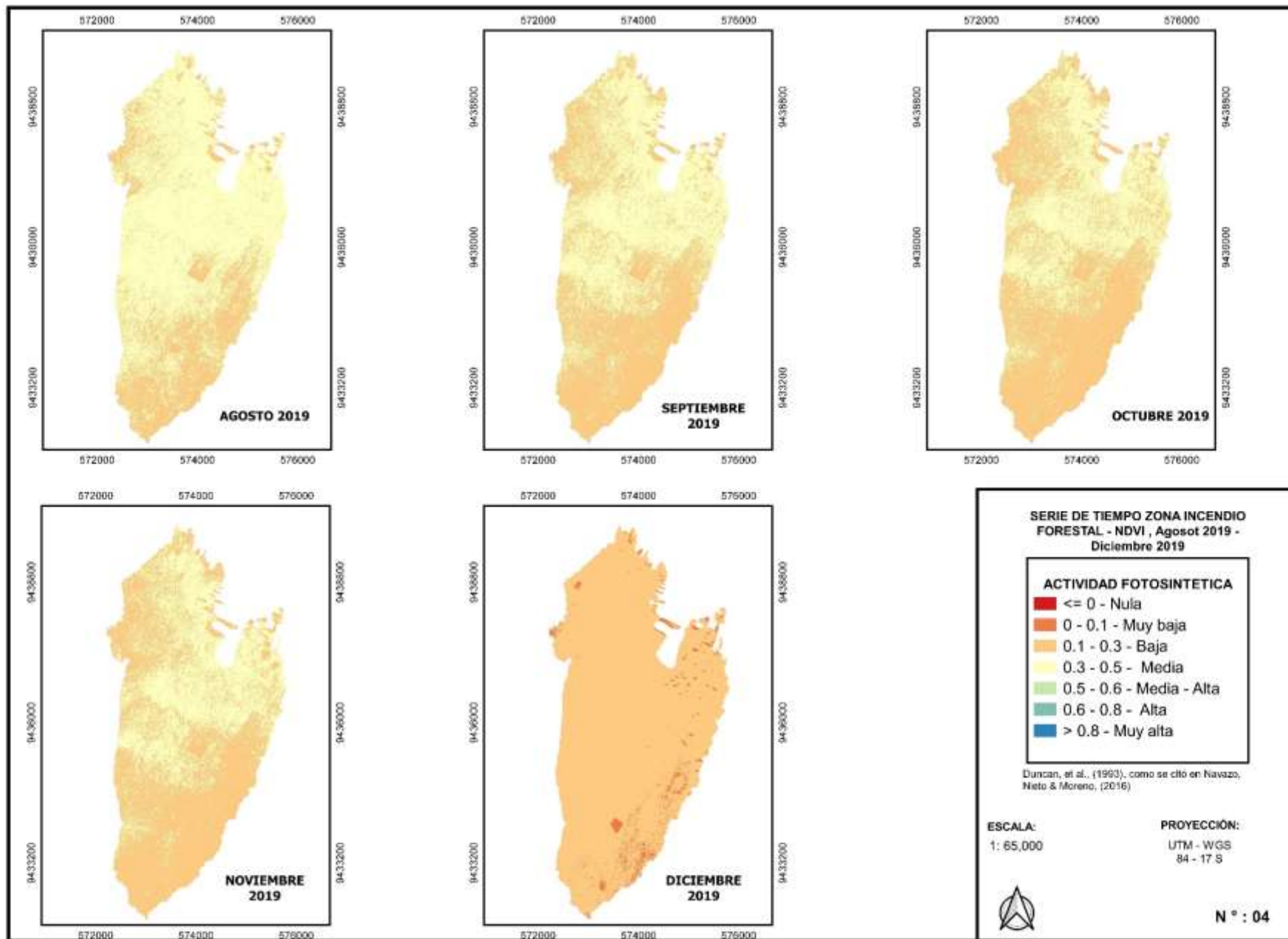
**ANEXO 01. Mapas del análisis temporal en el área de incendio forestal, índice de vegetación NDVI, SAVI y NBRI**

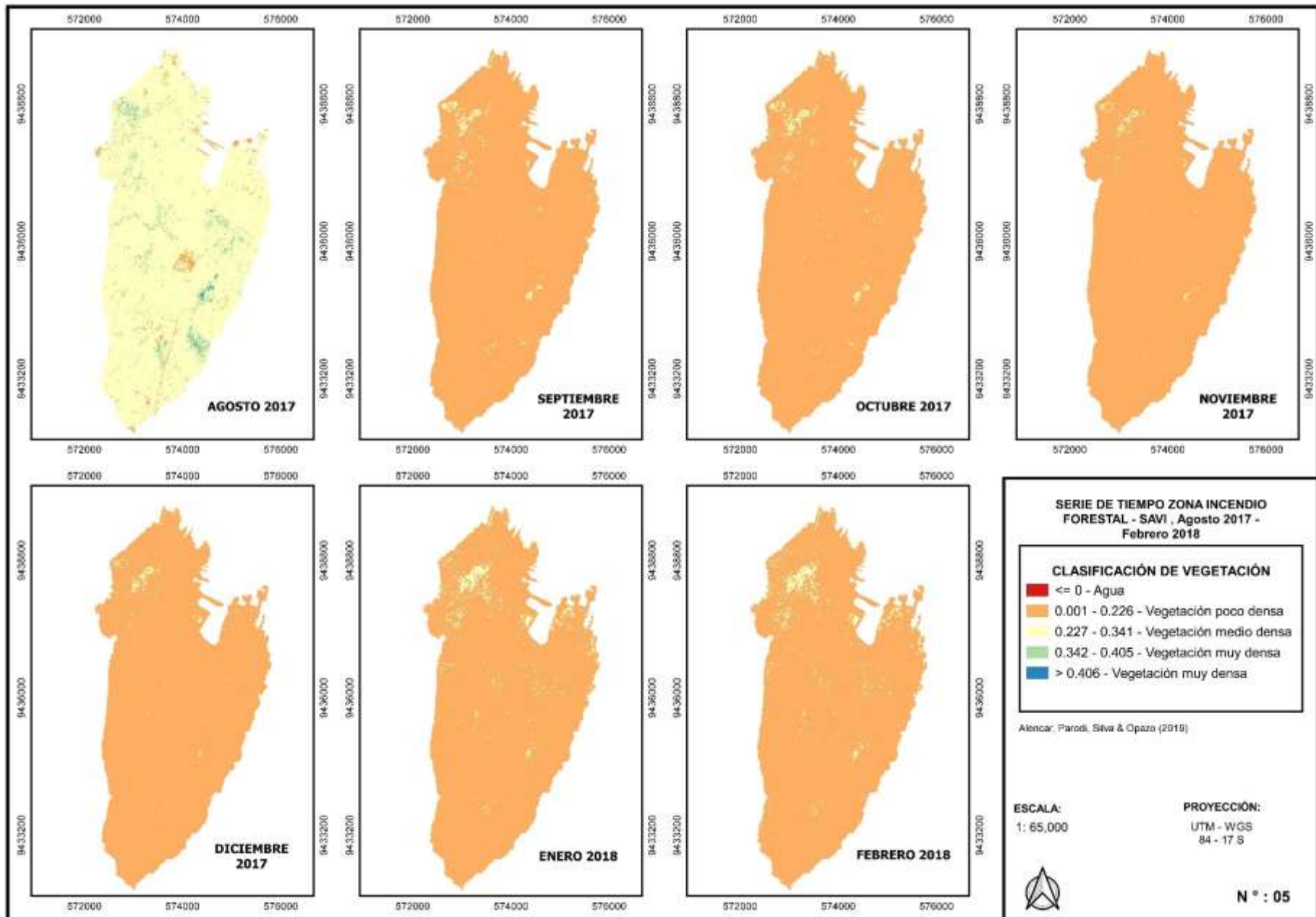




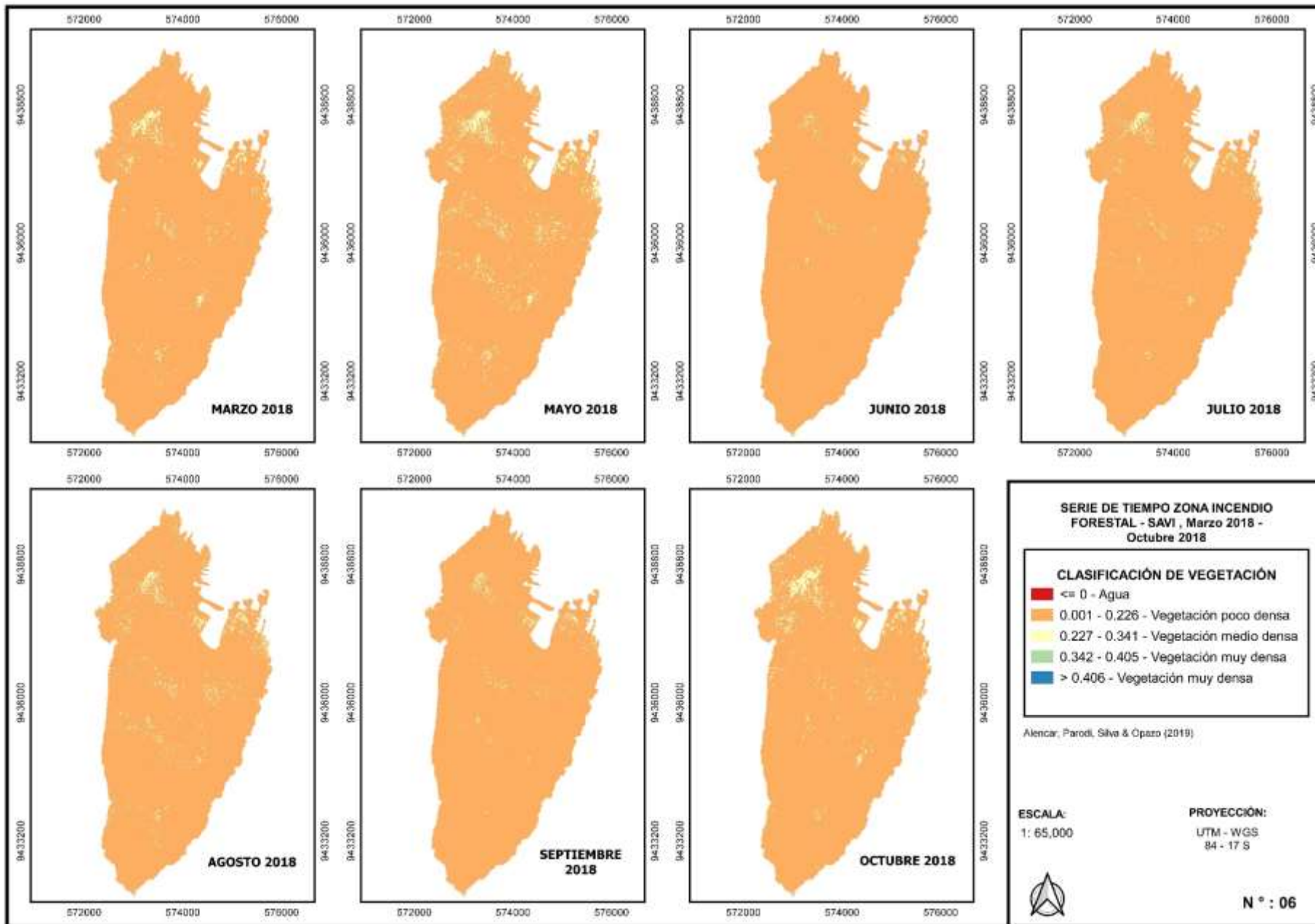


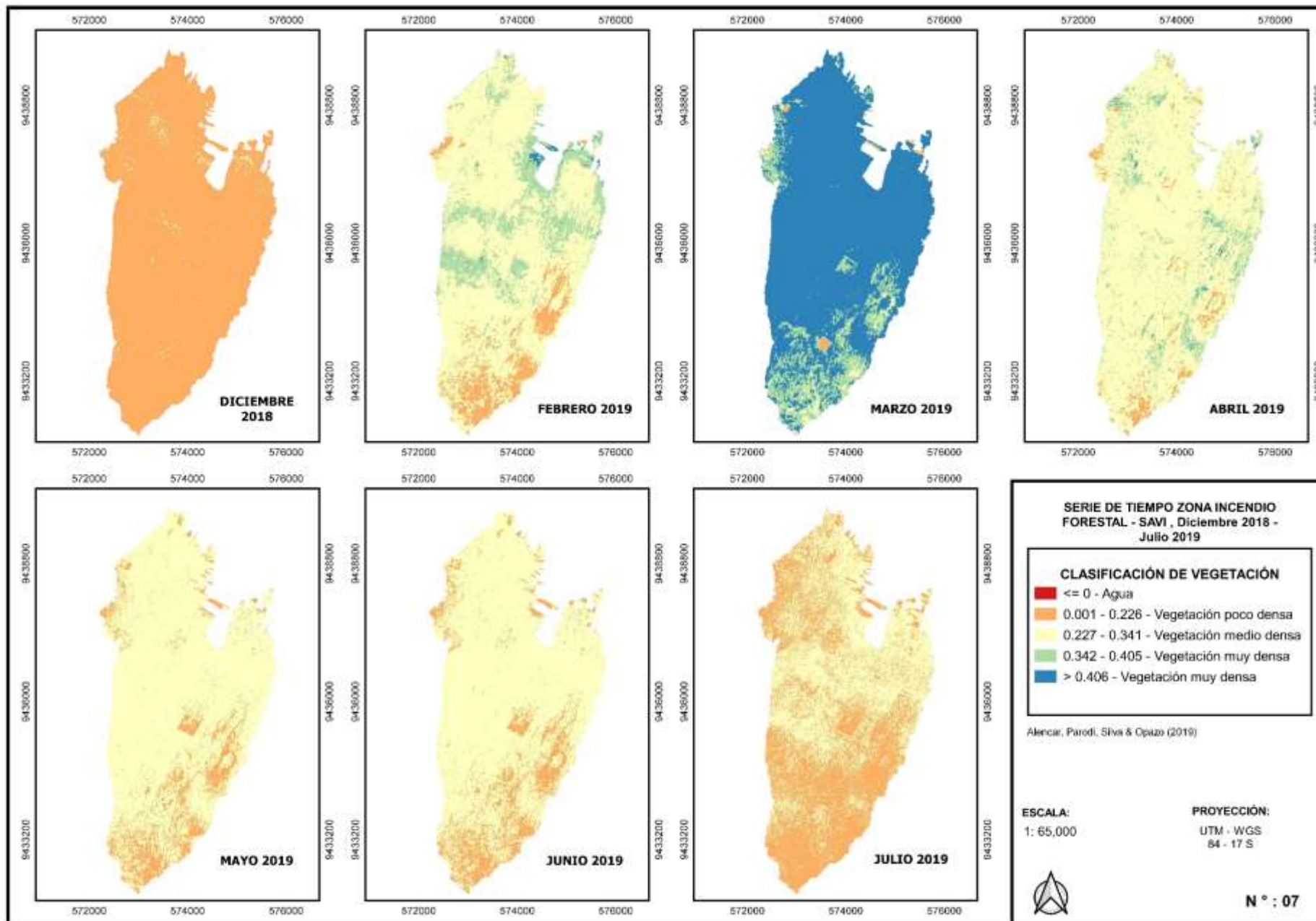


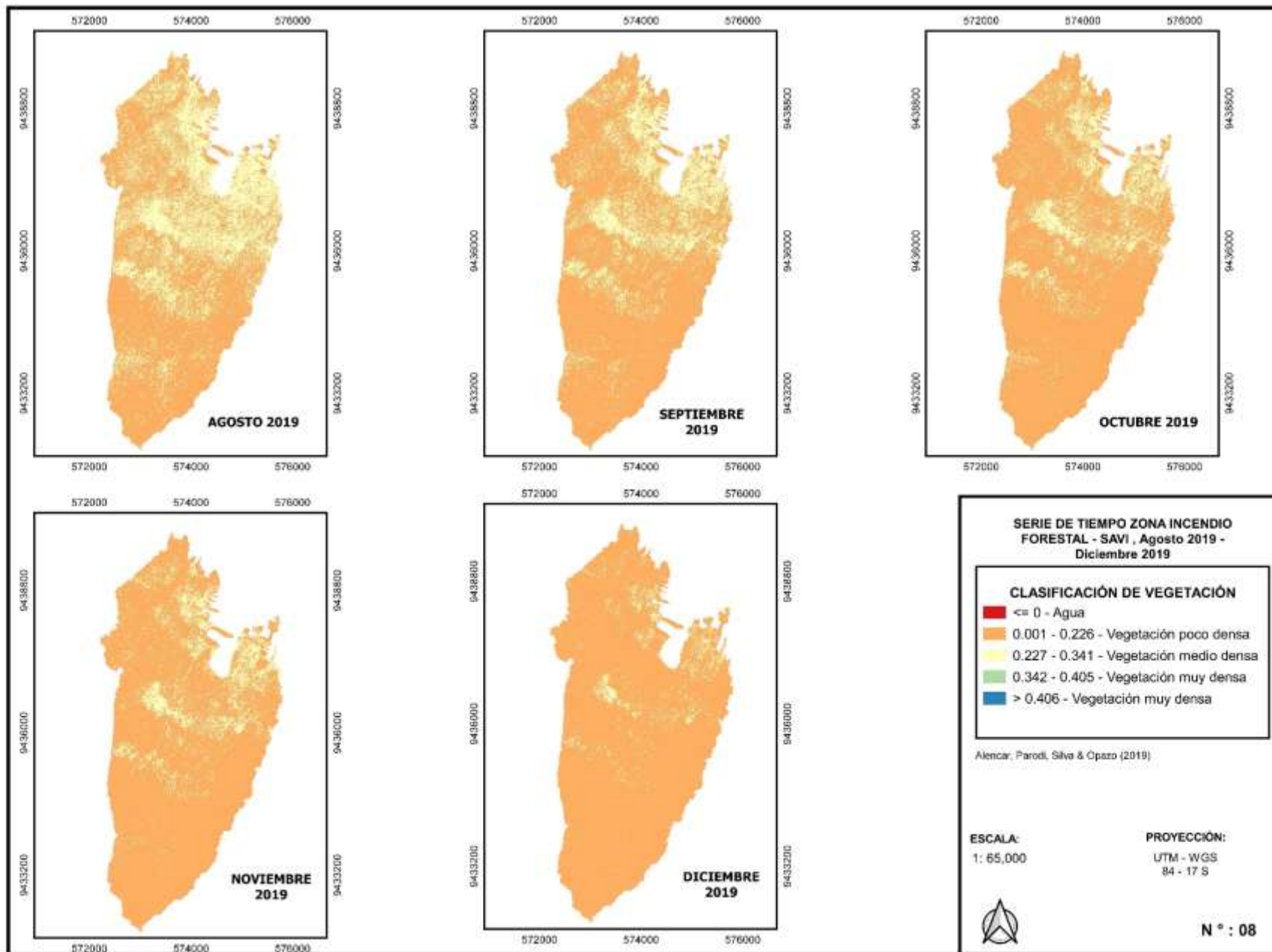




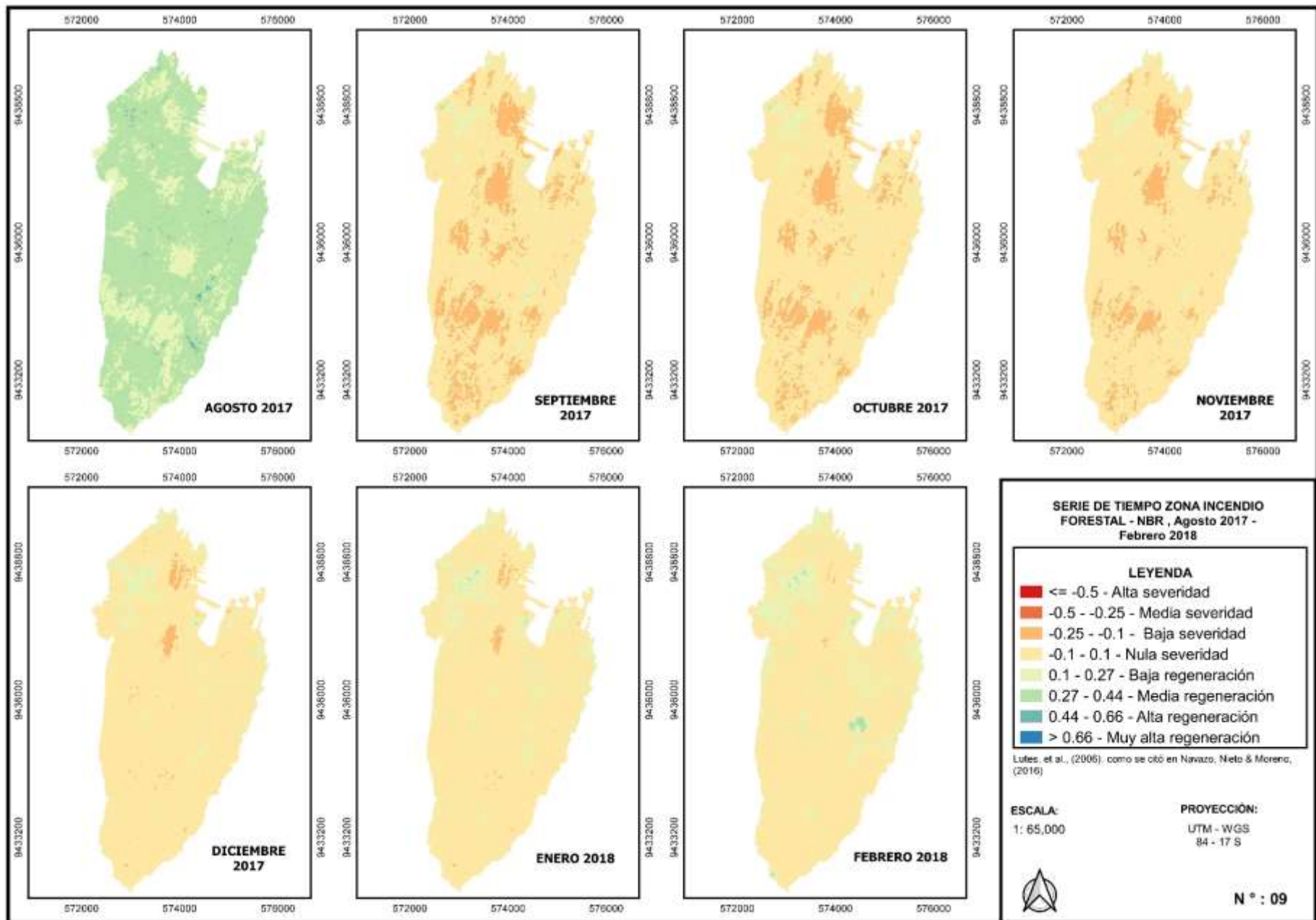


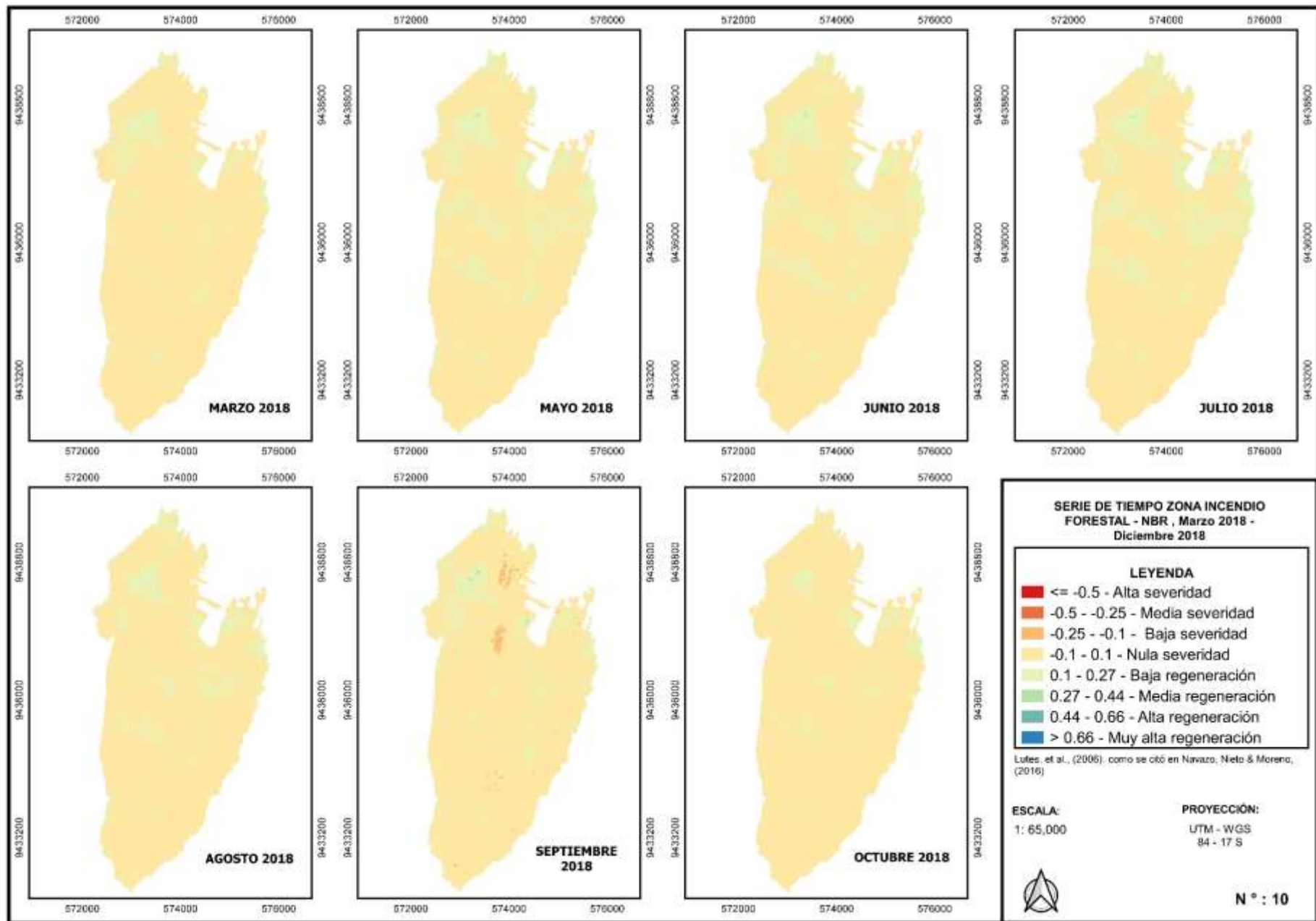


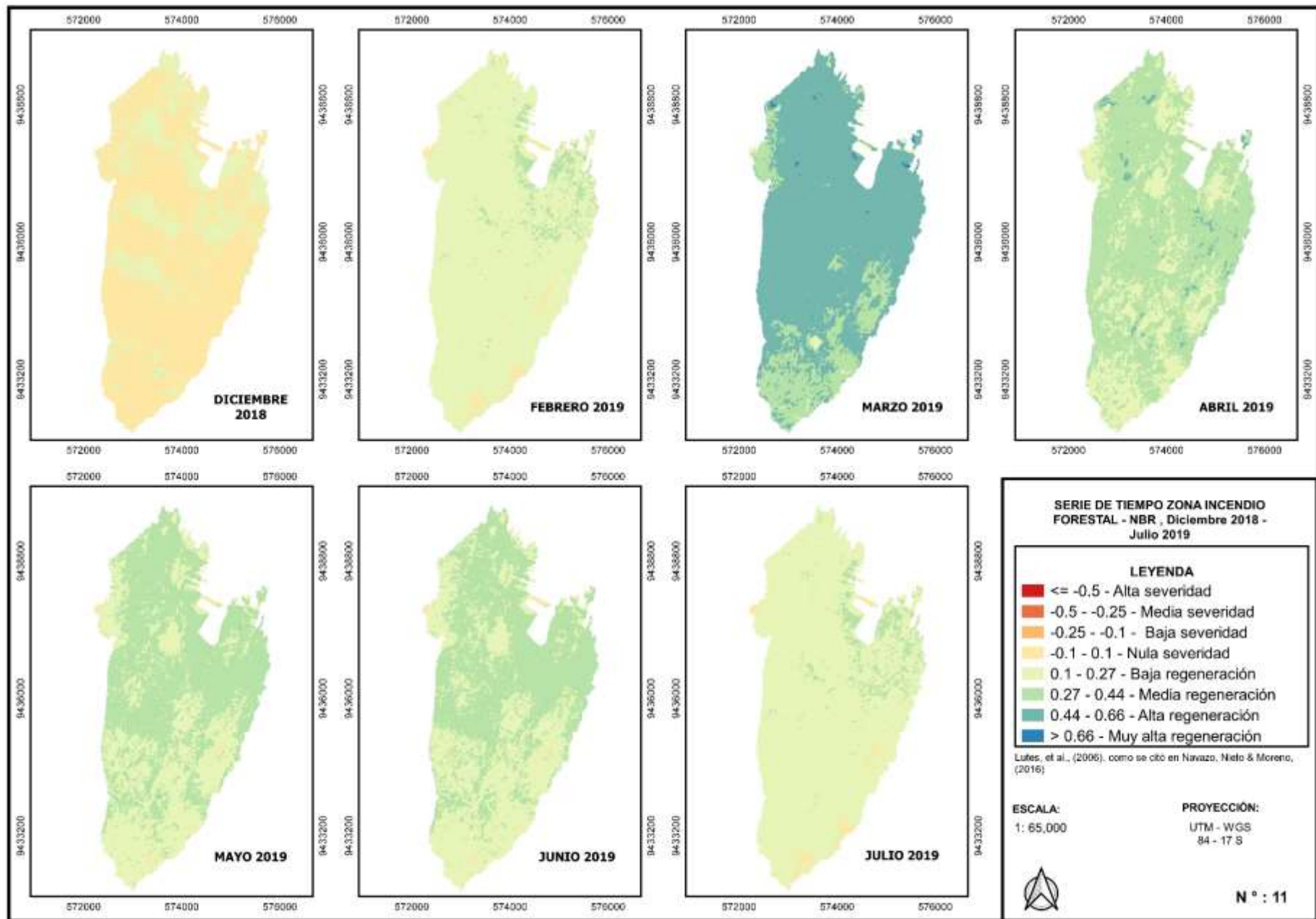


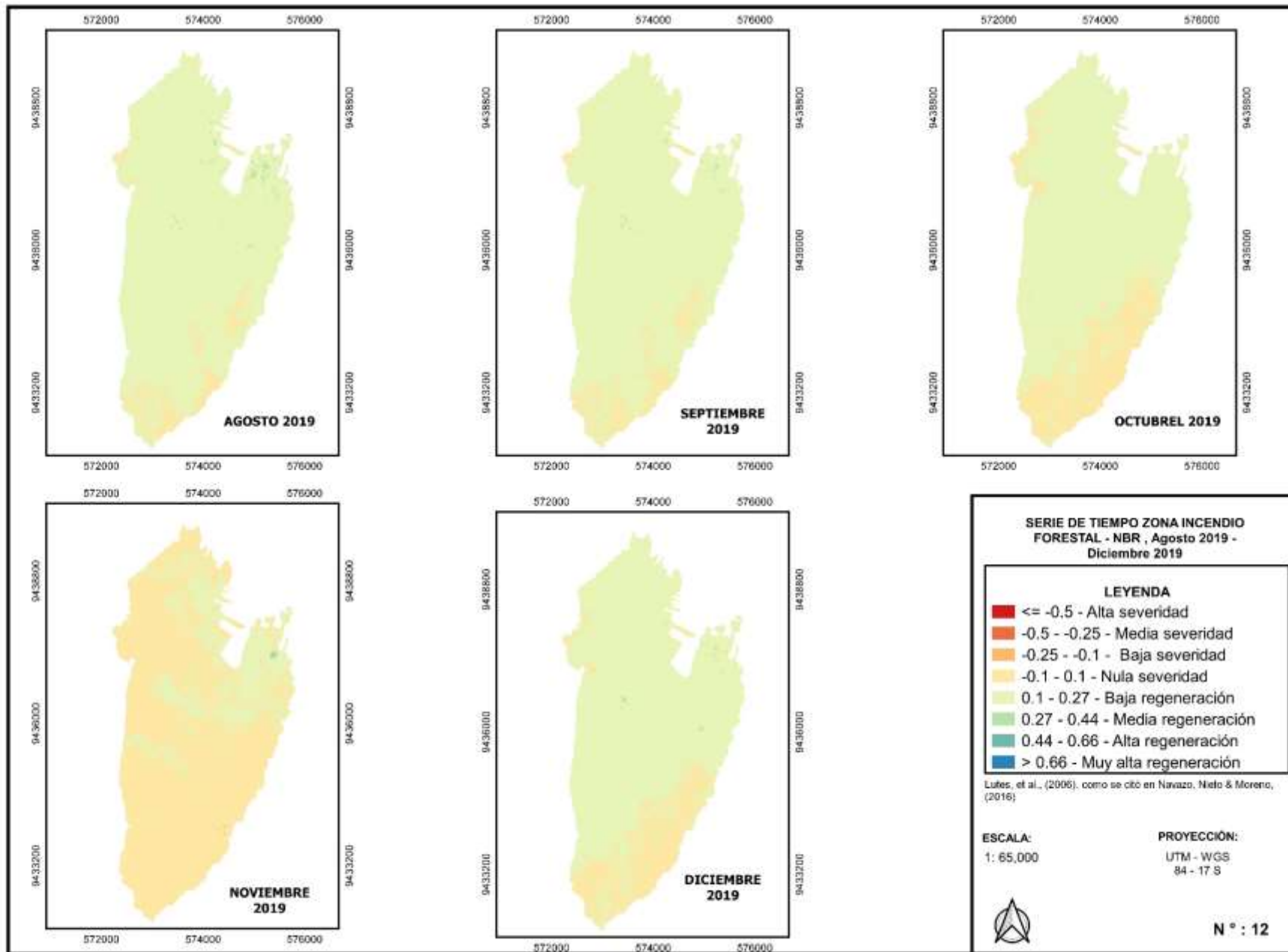






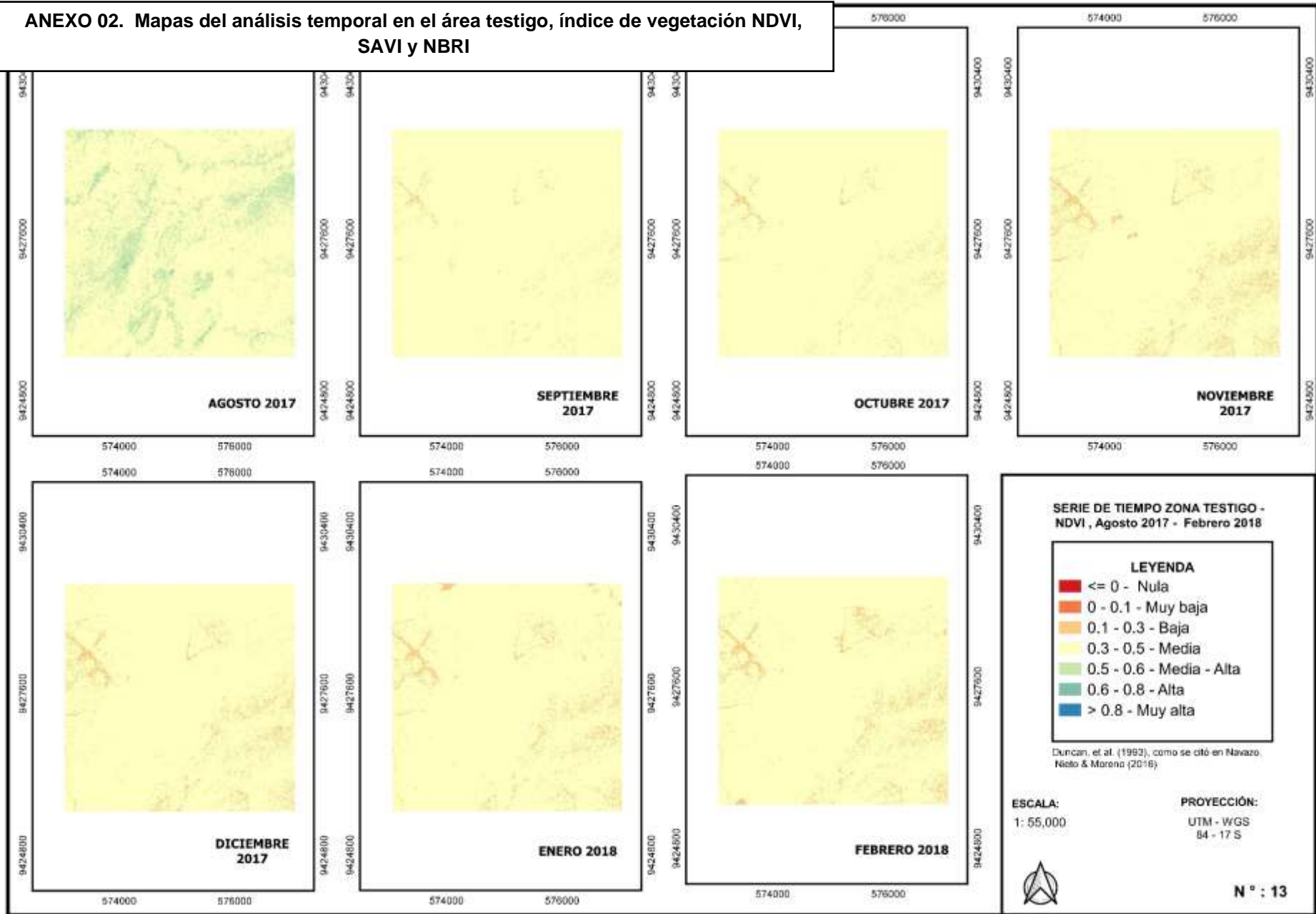




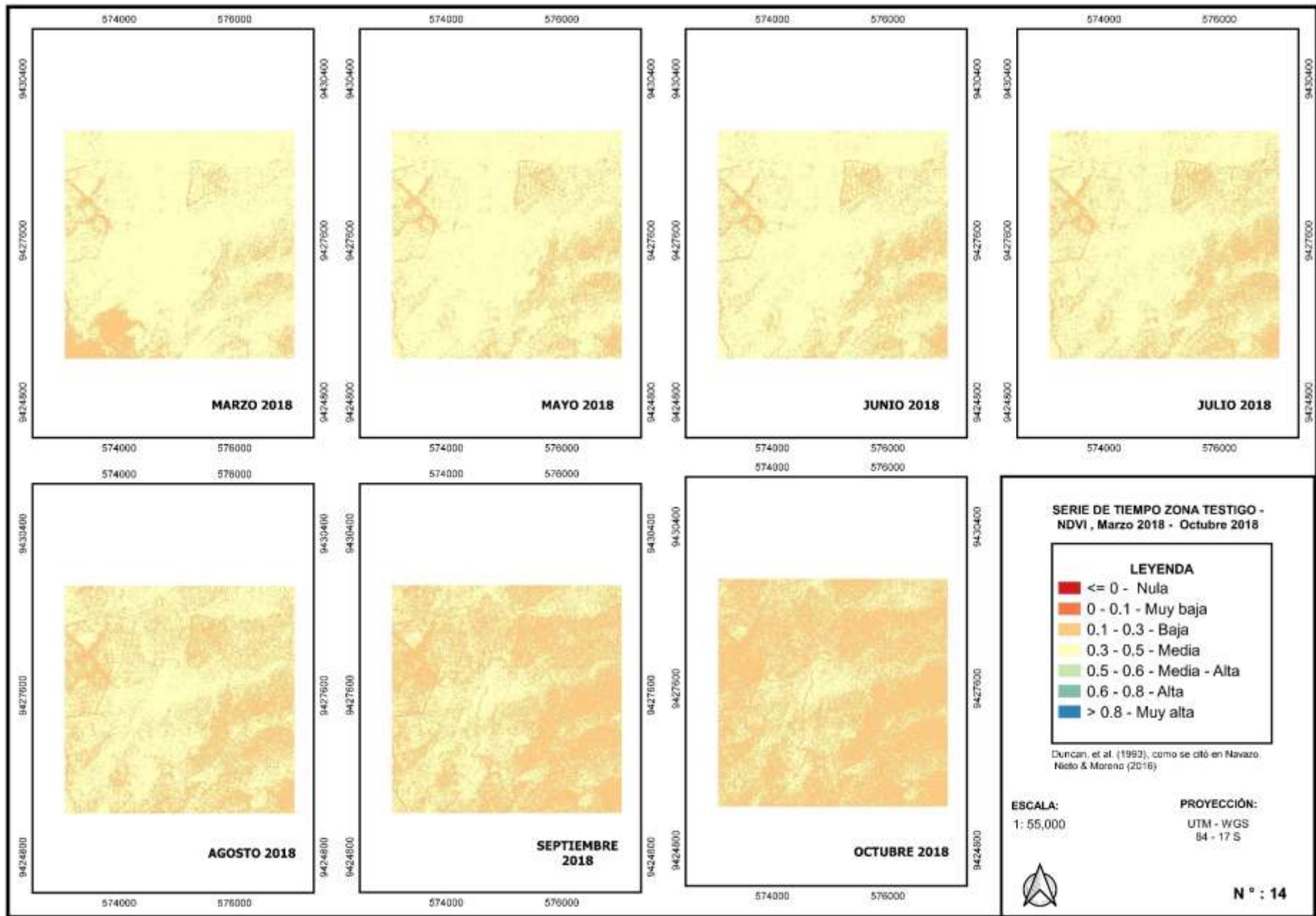


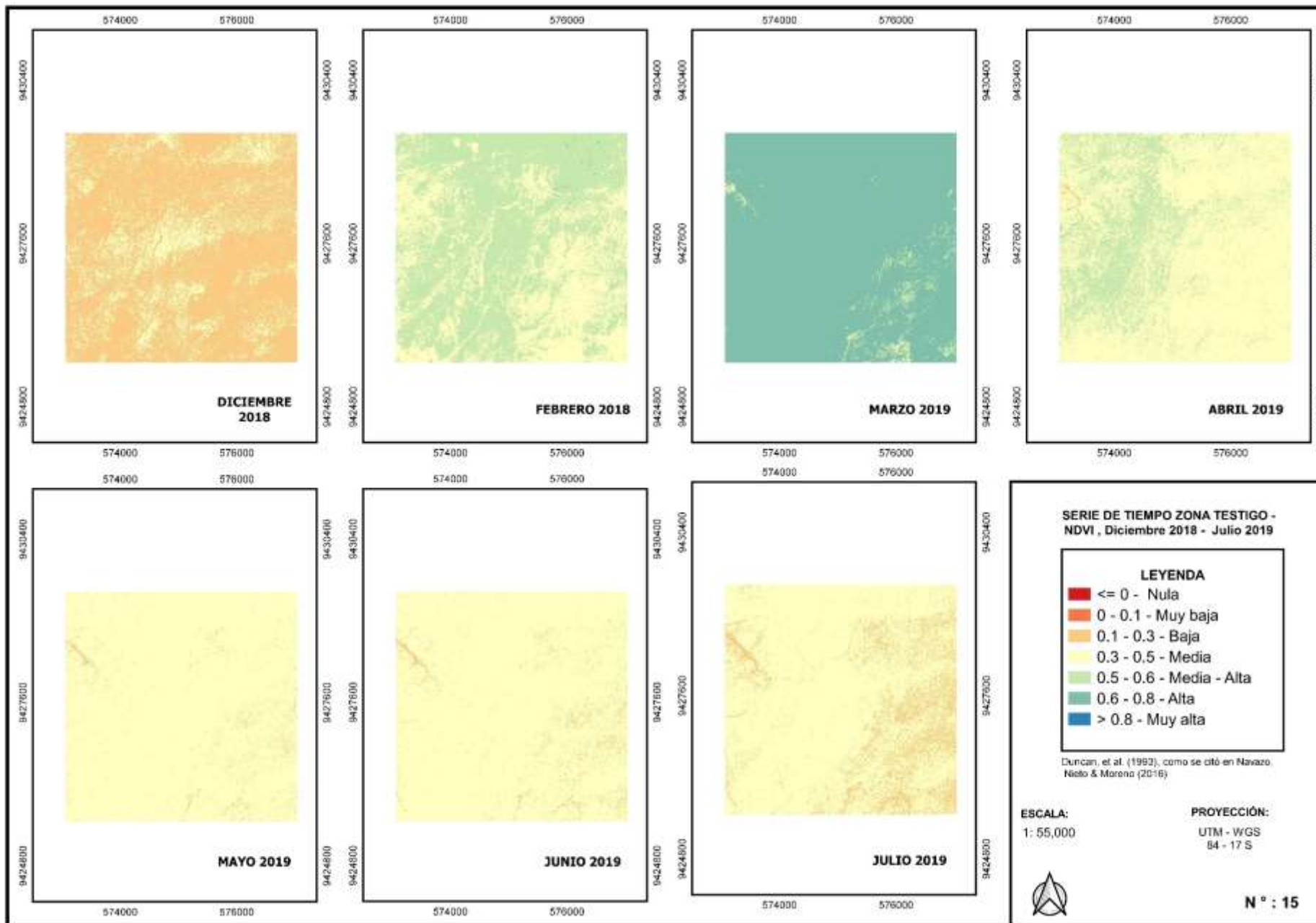


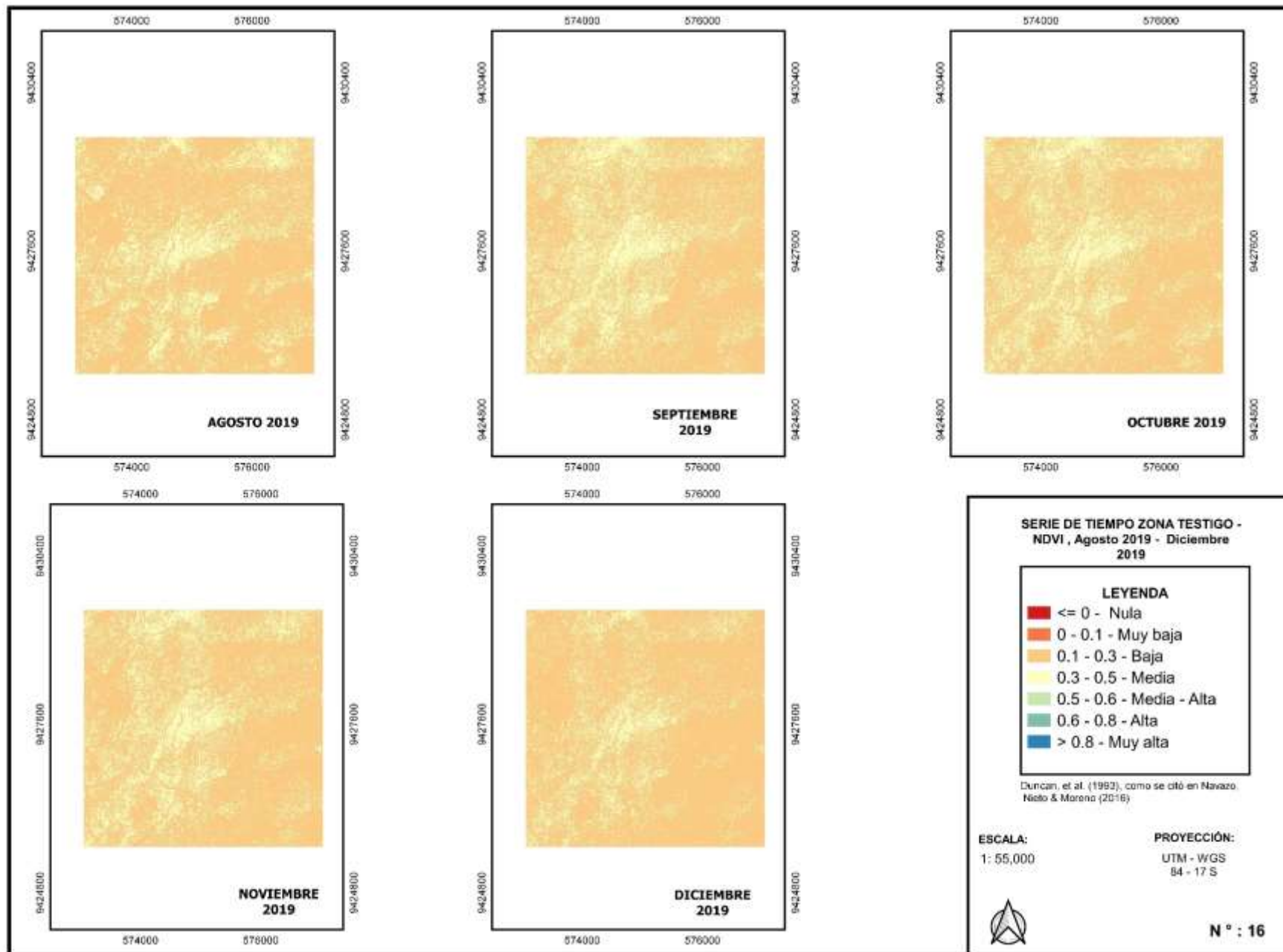
**ANEXO 02. Mapas del análisis temporal en el área testigo, índice de vegetación NDVI, SAVI y NBRI**

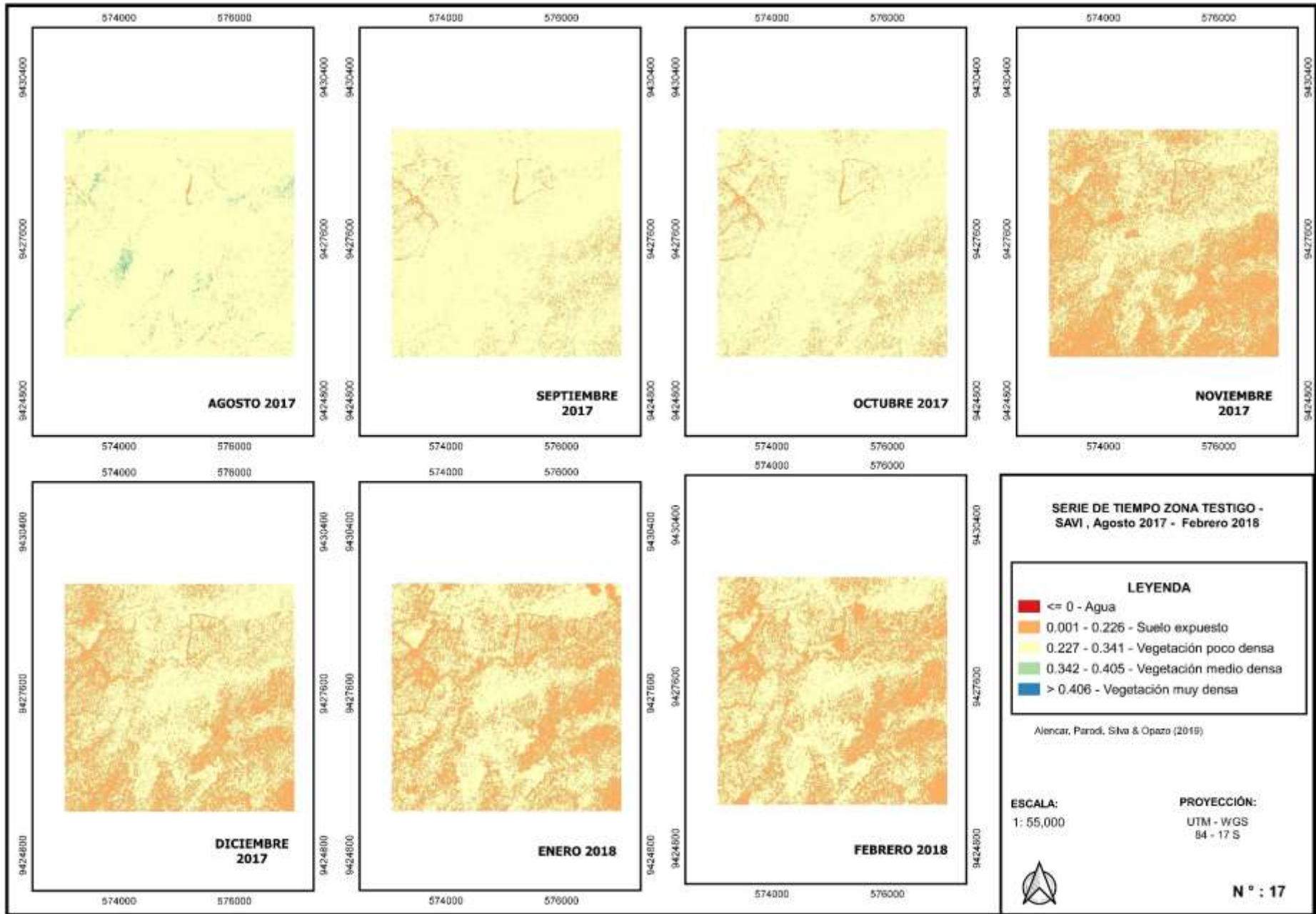




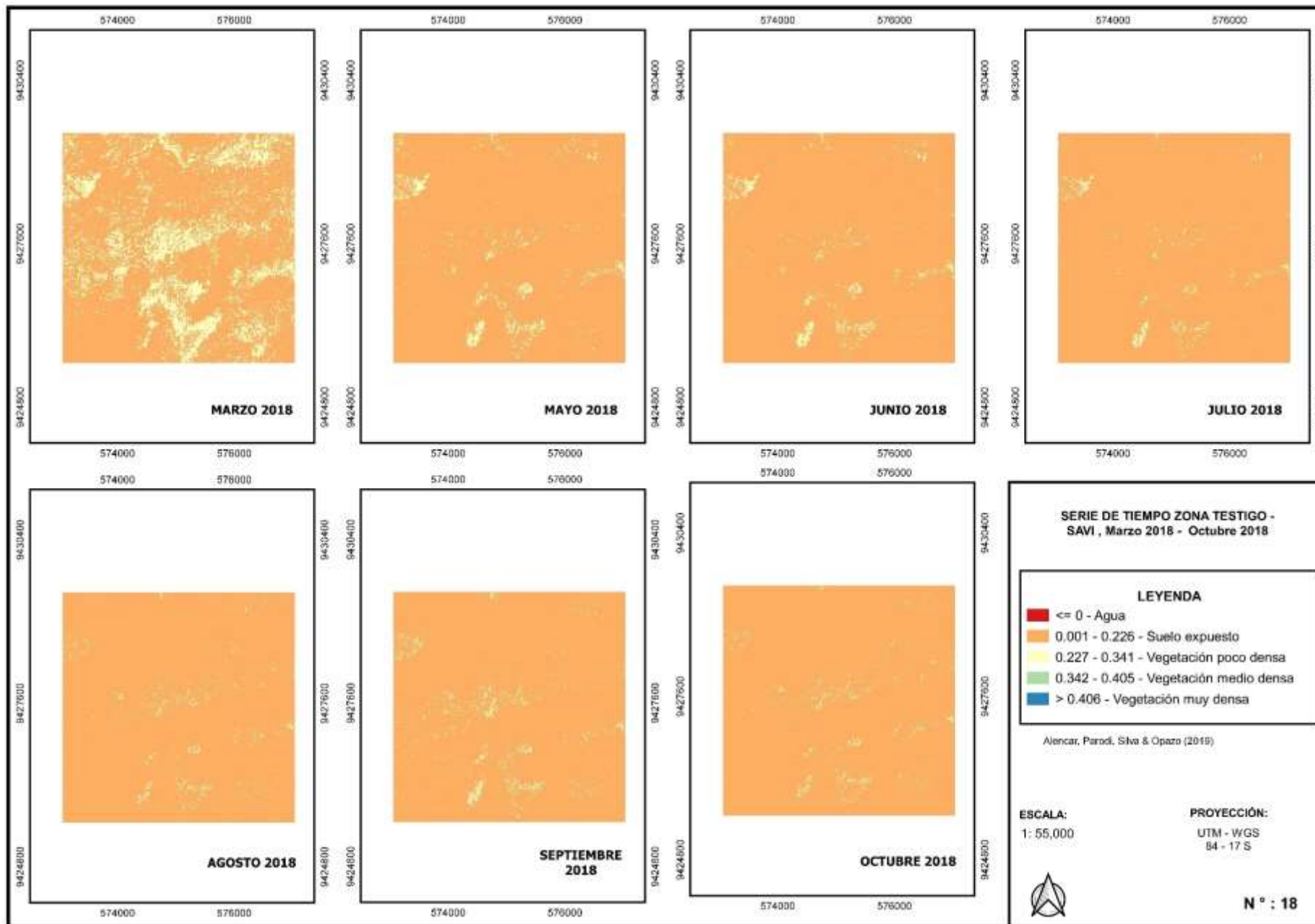


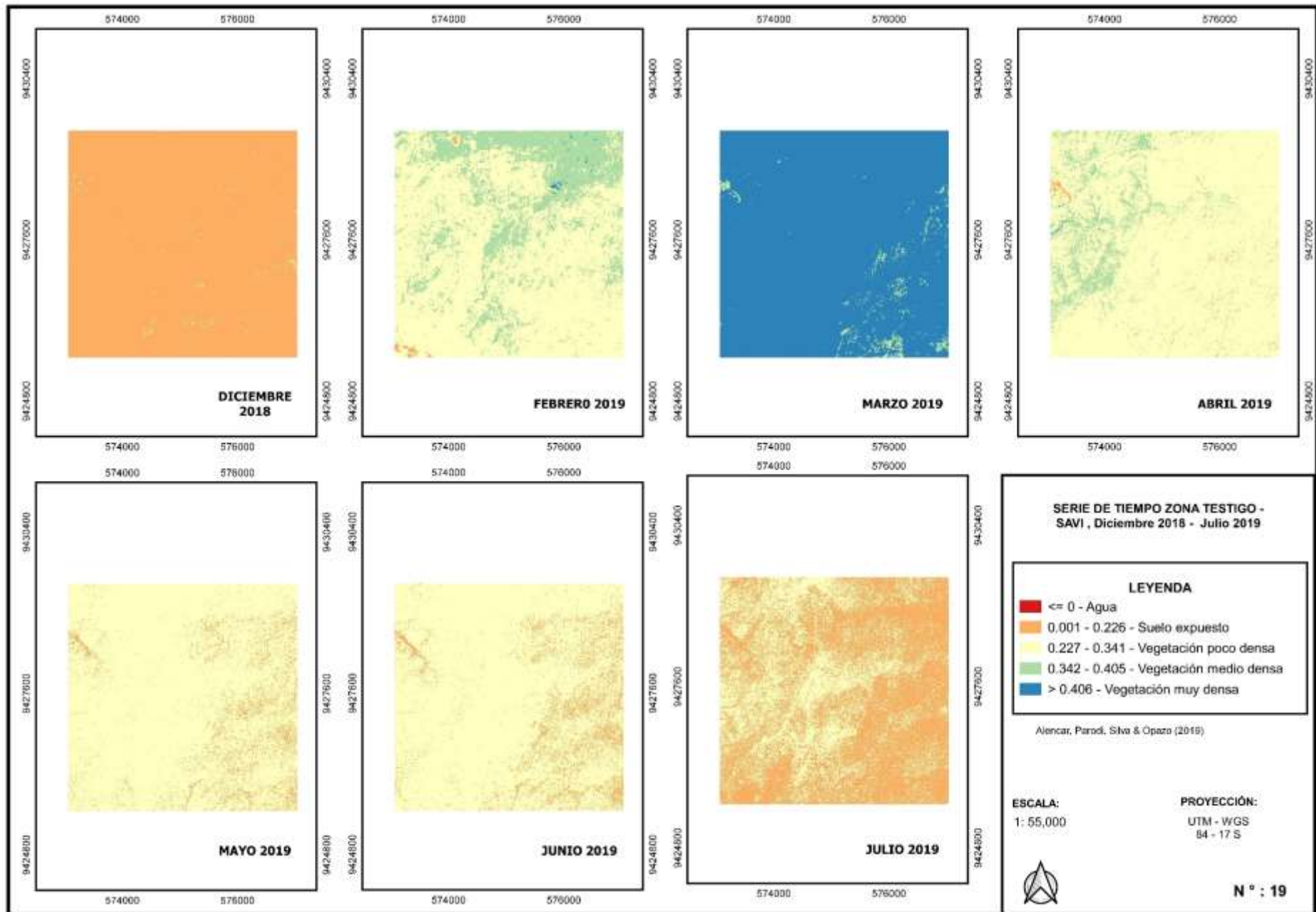


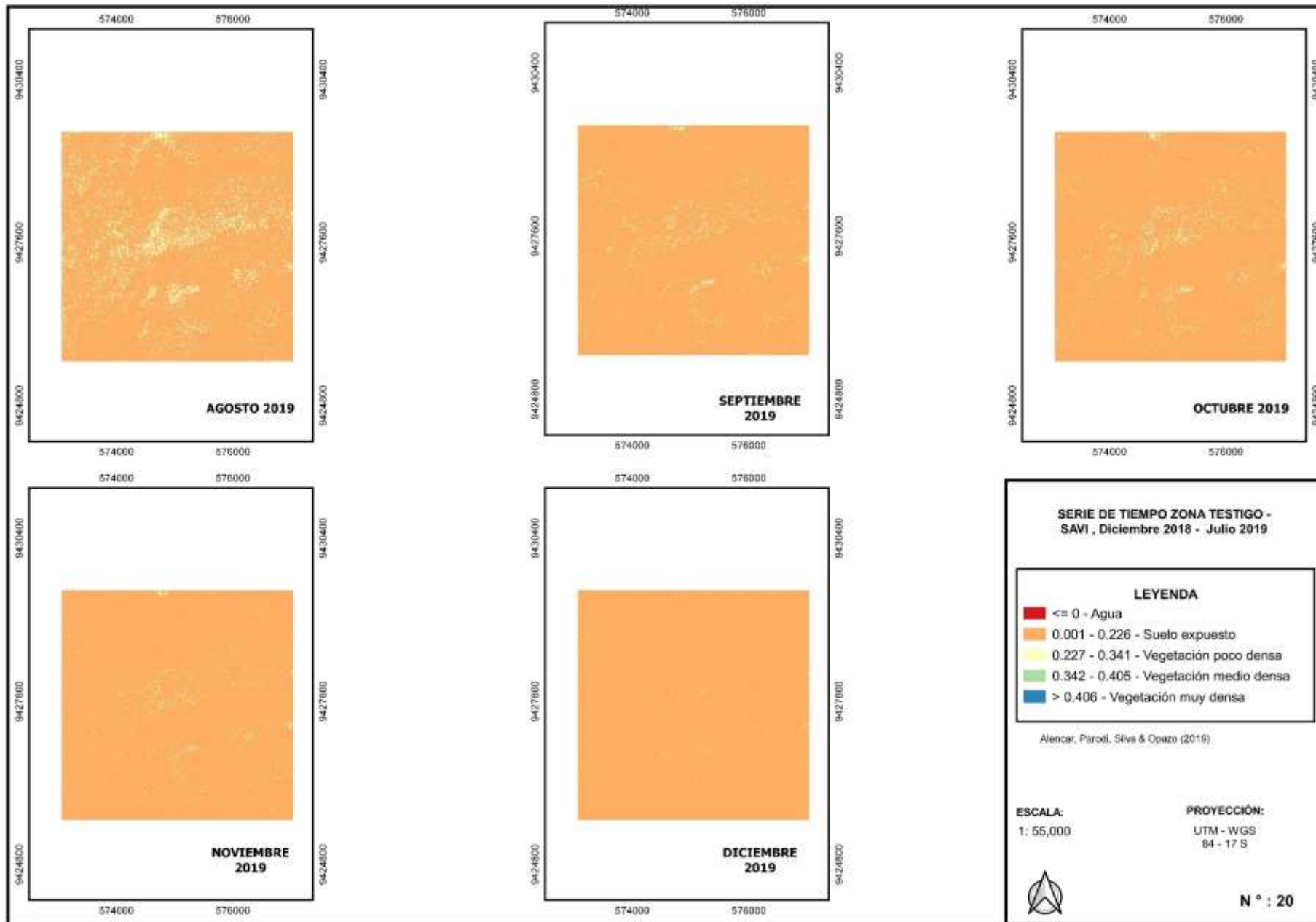


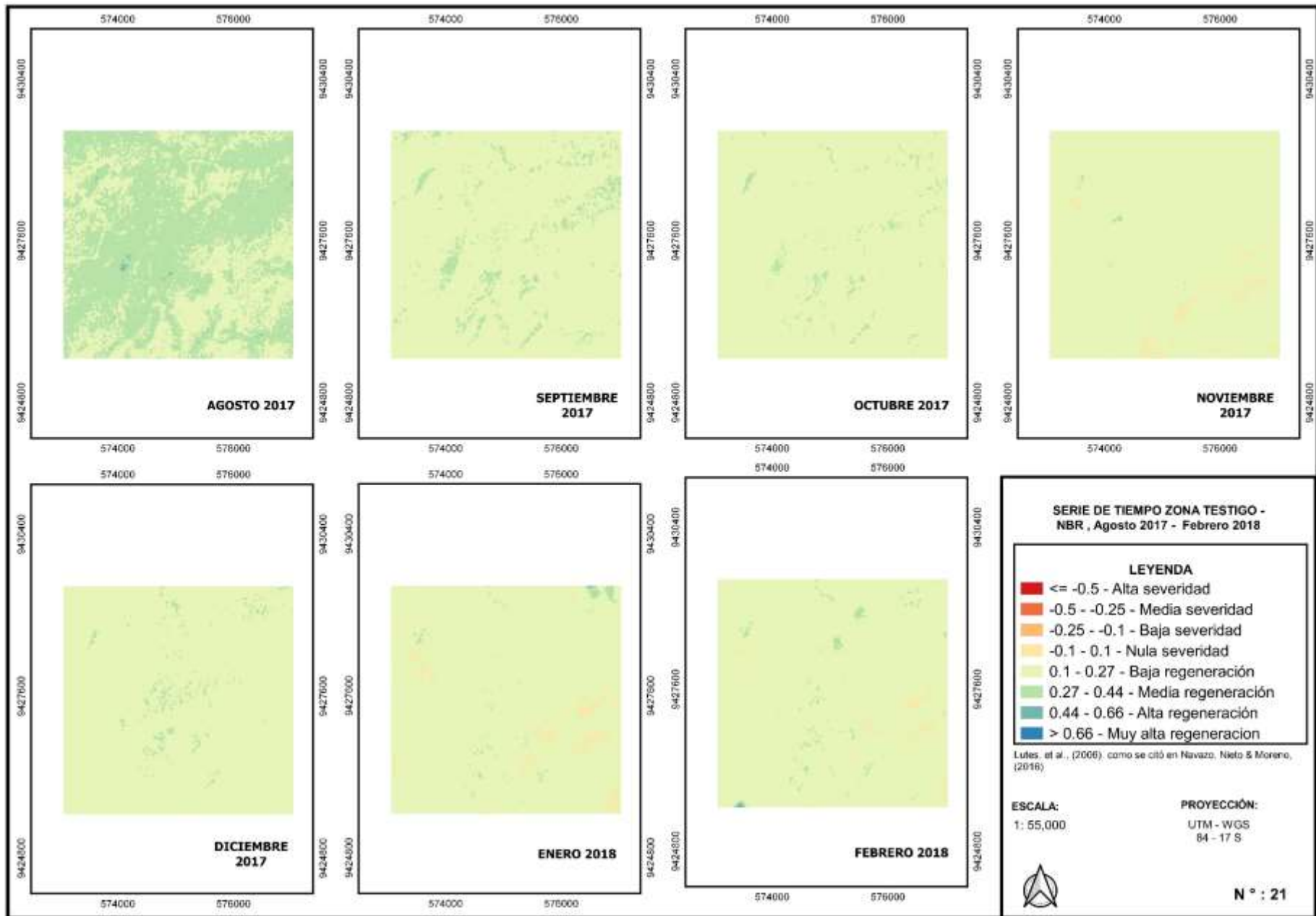




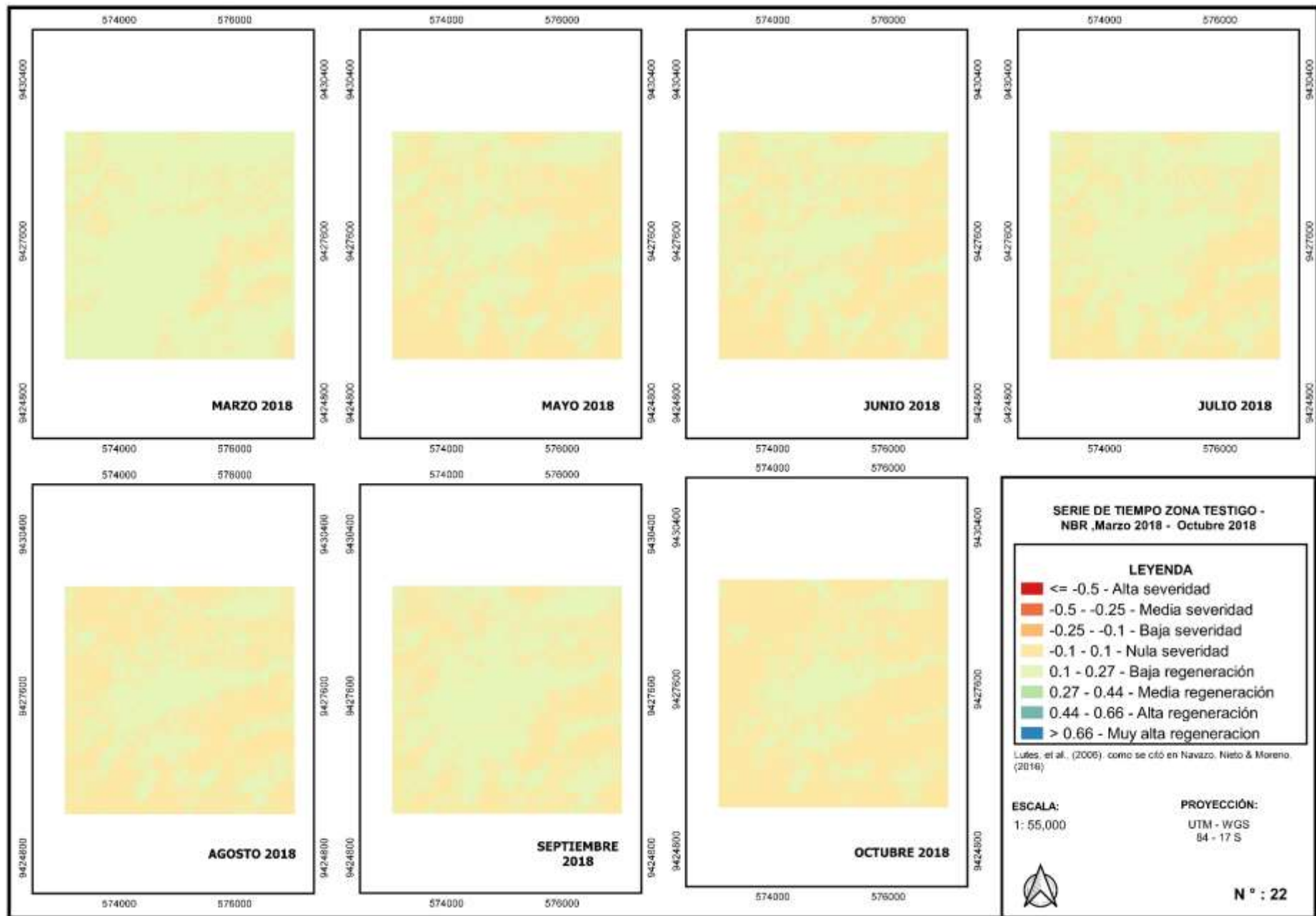


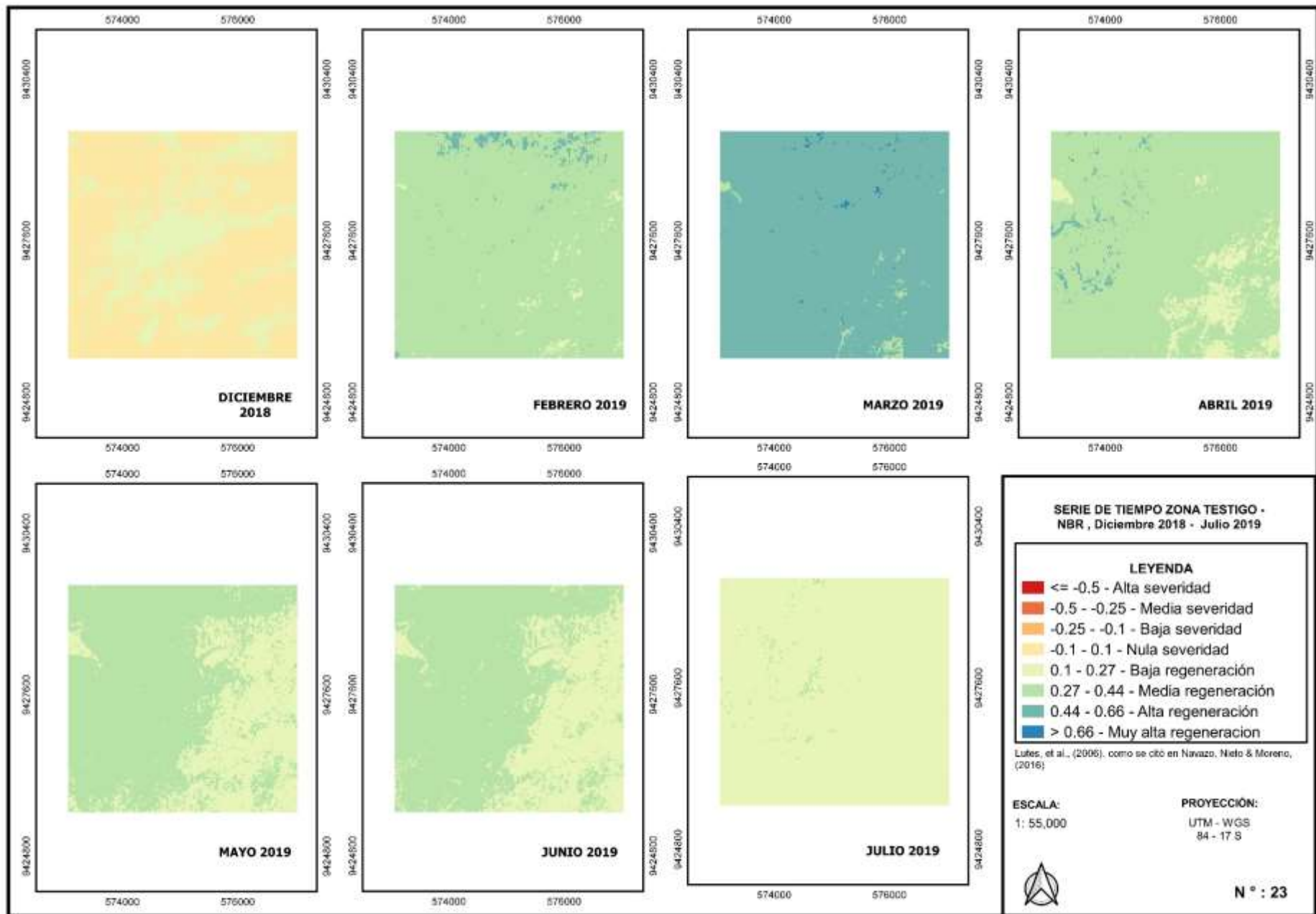


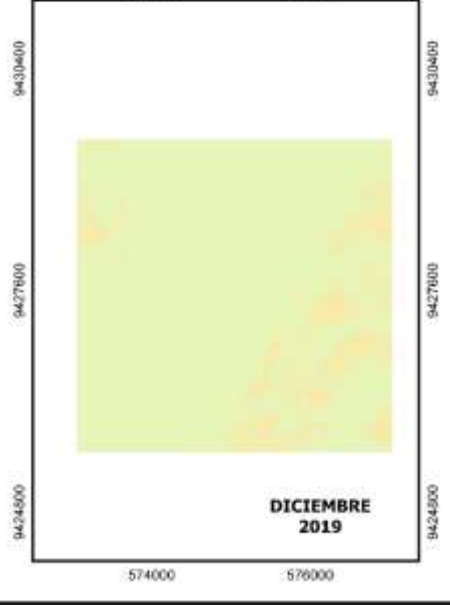
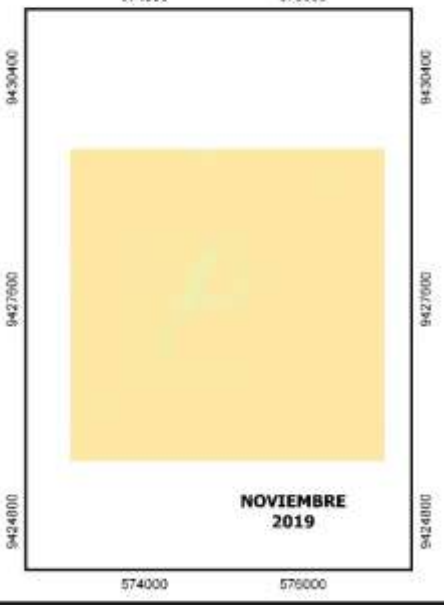
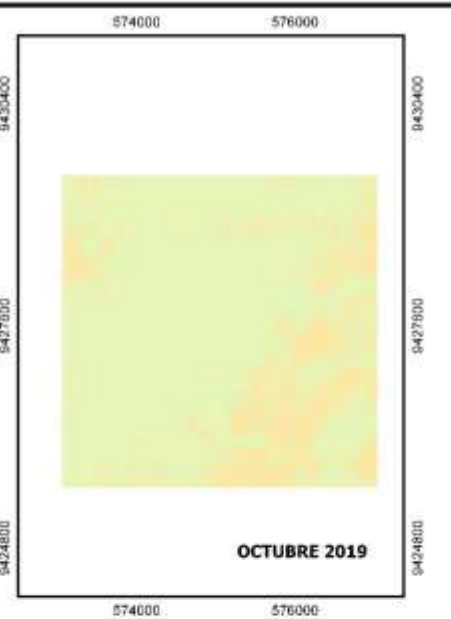
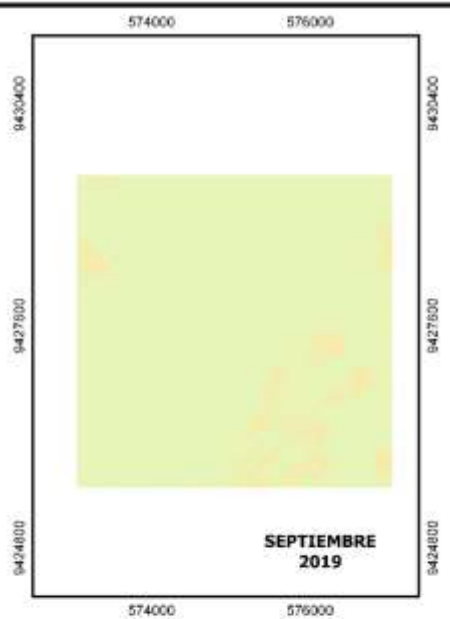
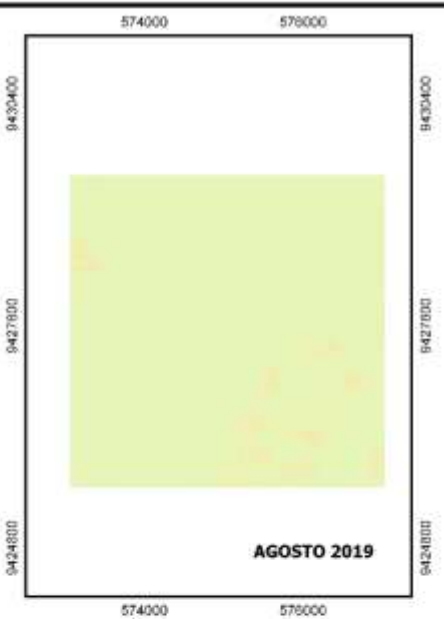
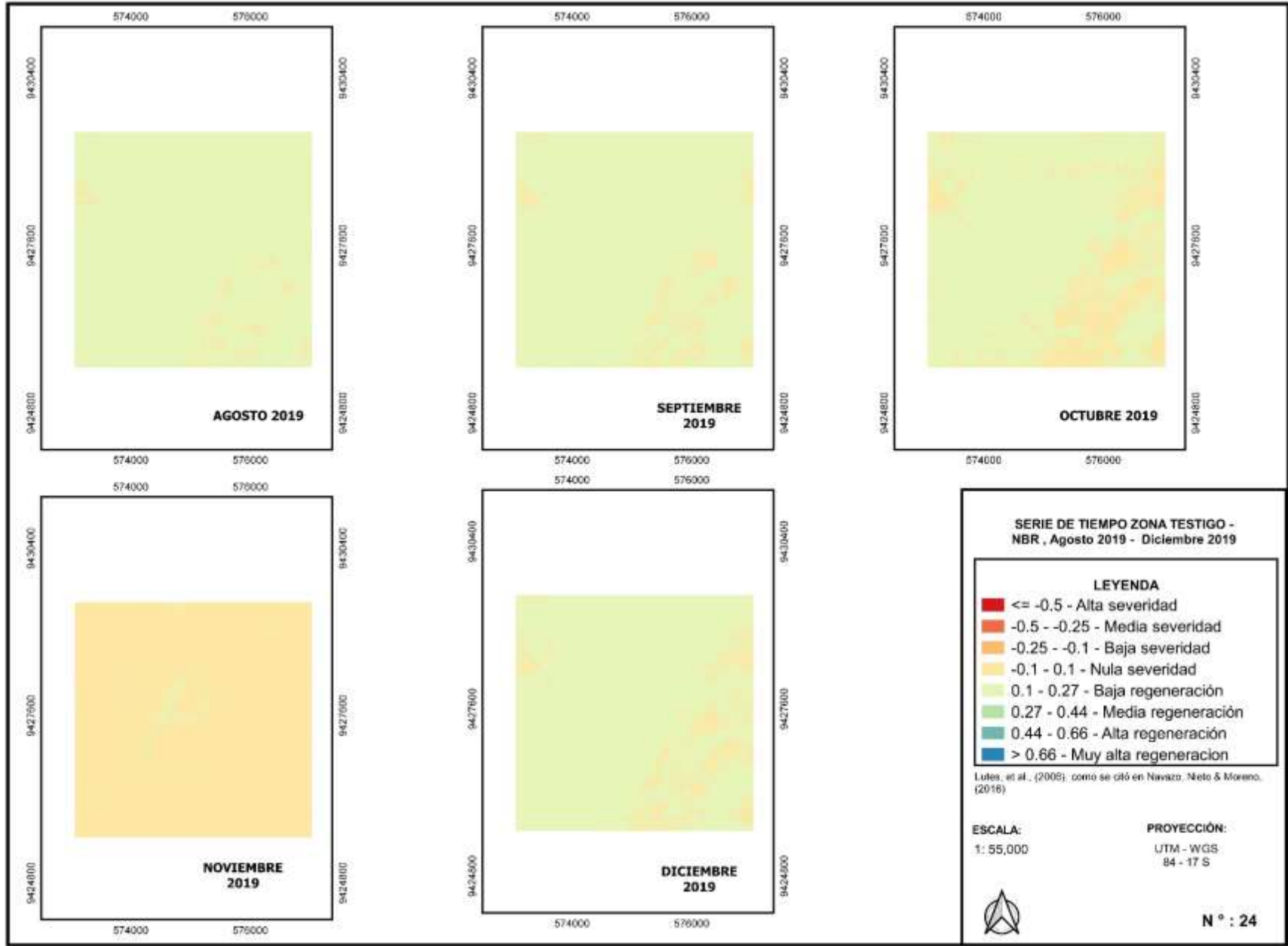












**ANEXO 03. Ficha para recolección de información en brinzales**

**Parcela de monitoreo  
Formato1: Evaluación de brinzales**

<b>Nombre de parcela</b>		<b>N° de subparcela</b>	
<b>Tipo de bosque</b>		<b>Fecha</b>	
<b>Evaluador</b>		<b>Hora de inicio</b>	
<b>Datum</b>		<b>Hora final</b>	
		<b>Centroide</b>	

N°	Código	Nombre Común	Nombre Científico	Altura total (cm)	diámetro altura del cuello (cm)	Coordenadas		Observaciones
						Este	Norte	

**ANEXO 04. Ficha para recolección de información en latizales**

**Parcela de evaluación**  
**Formato2: Evaluación de latizales**

<b>Nombre de parcela</b>		<b>N° de subparcela</b>		
<b>Tipo de bosque</b>			<b>Fecha</b>	
<b>Evaluador</b>			<b>Hora de inicio</b>	
<b>Datum</b>			<b>Hora final</b>	
			<b>Centroide</b>	

N°	Código	Nombre Común	Nombre Científico	Altura total (m)	DAP (cm)	Diámetro de copa			Coordenadas		Observaciones
						d1(m)	d2(m)	promedio(m)	Este	Norte	



**ANEXO 06. Ficha para recolección de información en fustales**

**Parcela e evaluación  
Formato1: Evaluación de Arboles**

Nombre de parcela	
Tipo de bosque	
Evaluador	
Datum	

N° de subparcela

Fecha

Hora de inicio

Hora final

Centroide

N°	Código	Nombre Común	Nombre Científico	Altura total (m)	DAP (cm)	Diámetro de copa			Coordenadas		Observaciones
						d1(m)	d2(m)	promedio(m)	Este	Norte	

**ANEXO 07. Datos históricos climáticos. Estación meteorológica “CHULUCANAS”**

Meses/ año	2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	T° promedio (°C)	Precipitación (mm/mes)	T° promedio (°C)	Precipitación (mm/mes)	T° promedio (°C)	Precipitación (mm/mes)	T° promedio (°C)	Precipitación (mm/mes)	T° promedio (°C)	Precipitación (mm/mes)	T° promedio (°C)	Precipitación (mm/mes)	T° promedio (°C)	Precipitación (mm/mes)	T° promedio (°C)	Precipitación (mm/mes)	T° promedio (°C)	Precipitación (mm/mes)	T° promedio (°C)	Precipitación (mm/mes)
Enero	27.83	0.00	27.20	49.21	27.82	34.70	27.48	7.40	28.34	1.20			27.39	3.60	25.62	180.60	27.55	6.00	28.35	4.20
Febrero	27.60	216.22	27.98	16.60	27.39	447.40	28.99	13.20	28.65	2.80			26.97	118.00	26.32	510.50	28.28	10.90	27.86	359.40
Marzo	27.57	138.62	28.28	1.20	27.41	320.30	27.75	127.80	28.91	25.50			27.11	97.60	25.97	943.60	28.50	2.30	27.32	25.10
Abril	27.01	0.00	27.65	85.31	27.11	87.30	27.08	4.20	27.88	5.40			26.48	46.00	25.45	47.20	27.21	74.30	27.00	23.00
Mayo	25.41	2.30	26.05	2.00	25.88	0.00	25.11	18.60	26.65	3.40			25.65	0.10	23.75	8.30	25.62	3.70	26.11	0.70
Junio	24.68	0.00	25.40	3.80	25.29	0.02	23.74	0.00	26.58	0.50	24.67	0.00	23.79	1.10	21.83	0.60	23.99	0.00	24.70	0.00
Julio	23.43	0.00	23.76	0.70	23.46	0.01	23.49	0.00			23.33	0.00	23.31	0.00	21.05	1.40	23.52	0.00	23.67	0.30
Agosto	23.55	0.00	24.14	0.00	23.36	0.00	24.12	0.00			23.20	0.00	23.06	0.10	22.82	1.50	24.87	0.00	23.53	0.00
Septiembre	23.63	0.00	24.71	0.00	24.82	0.00	24.20	1.10			24.52	0.40	23.93	0.00	23.85	0.00	25.01	0.00	22.27	0.00
Octubre	23.90	9.80	24.39	2.50	24.95	0.21	24.95	8.00			24.76	0.80	23.95	0.00	24.39	4.70	25.06	0.00	22.63	3.40
Noviembre	24.50	2.30	25.77	1.90	26.29	7.30	24.88	0.00			24.98	0.80	24.00	0.00	24.59	0.30	26.00	16.90	23.90	0.20
Diciembre	26.02	1.30	26.67	6.21	28.85	1.11	26.90	2.80			27.00	0.00	25.70	1.40	26.29	1.60	26.71	1.30	25.62	20.00



**ANEXO 08. Cobertura vegetal afectada por el incendio forestal (26 /10 / 2017)**



**ANEXO 09. Cobertura vegetal afectada por el incendio forestal (09 /08 / 2019)**





**ANEXO 10. Recorrido del área afectada por el incendio forestal (10 /12 / 2019)**



**ANEXO 11. Medición de parámetros dasométricos**













X

Parcela de monitoreo

Formato2: Evaluación de brizales

Nombre de parcela	Parcela N° 02	N° de subparcela	N° 07
Tipo de bosque		Fecha	
Evaluador		Hora de inicio	10:30 am
Datum		Hora final	10:40 am
		Centroide	573135; 943320.03

N°	Código	Nombre Común	Nombre Científico	Altura total (cm)	diámetro altura del cuello (cm)	Coordenadas		Observaciones
						Este	Norte	
01		Fuquias		1.33 m	2 cm	573134	9433204	...



**Parcela de monitoreo**  
**Formato1: Evaluación de Arboles**

Nombre de parcela	Parcela N° 02
Tipo de bosque	Urbana
Evaluador	Arb. Lda
Datum	WGS 84

N° de subparcela	N° 06
Fecha	09/12/19
Hora de inicio	10:00 am
Hora final	10:20 am
Centroide	573087; 9433202

N°	Código	Nombre Común	Nombre Científico	Altura total (m)	DAP (cm)	Diámetro de copa			Coordenadas		Observaciones
						d1(m)	d2(m)	promedio(m)	Este	Norte	
01		Zarza		3.5 m	43.61	6 m	4.5 m	5.25	573087	9433195	- - - - -

**Parcela de monitoreo**  
**Formato3: Evaluación de fustales**

Nombre de parcela	Parcela N° 02	N° de subparcela	N° 03
Tipo de bosque		Fecha	
Evaluador	Arbido Gacio N.	Hora de inicio	2:45 pm
Datum		Hora final	2:55 pm
		Centroide	

N°	Código	Nombre Común	Nombre Científico	Altura total (m)	DAP (cm)	Diámetro de copa			Coordenadas		Observaciones
						d1(φm)	d2(φm)	promedio(cm)	Este	Norte	
01		Oxal		2.2m	5.3	1.8	2		5730 43	7433 557	
02		Oxal		3.3m	8.7	3.5m	2m		5730 41	7433 355	
03		Oxal		3.3m	8.6	4 m	2.5m		5730 41	7433 355	
04		Oxal		2.8m	5.4	3.5m	2.5m		5730 38	7433 358	



**Parcela de monitoreo**  
**Formato 2: Evaluación de latizales**

Nombre de parcela	P-04
Tipo de bosque	
Evaluador	
Datum	

N° de subparcela	SR-03
Fecha	
Hora de inicio	
Hora final	

N°	Código	Nombre Común	Nombre Científico	Altura total (m)	DAP (cm)	Diámetro de copa			Coordenadas		Observaciones
						d1(cm)	d2(cm)	promedio(cm)	Este	Norte	
01		faque		1,70	10	2,40	3,80		57304	943443	Rebrote
		faque		1,8	20	3,40	4,30		57304	943443	Rebrote
		faque		1,15	3,6	2,30	3,10		57304	943443	Rebrote
		faque		1,20	1,4	1,5	1,20		57304	943443	Rebrote
		faque		1,10	2,2	2,60	1,80				Rebrote

**Parcela de evaluación**  
**Formato1: Evaluación de Arboles**

Nombre de parcela	Parcela Nº 03 Tingo
Tipo de bosque	
Evaluador	
Datum	

Nº de subparcela	SP Nº 01
Fecha	
Hora de inicio	
Hora final	
Centroide	574850.9428563

N°	Código	Nombre Común	Nombre Científico	Altura total (m)	DAP (cm)	Diámetro de copa			Coordenadas		Observaciones
						d1(m)	d2(m)	promedio(m)	Este	Norte	
		Sapote		5.26	1464	4.20	3.46		574849	9428564	