

**EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DE LA TEMPERATURA DE SUPERFICIE EN
COBERTURAS DE BOSQUES Y AREAS SEMINATURALES Y TERRITORIOS
AGRICOLAS DEL MUNICIPIO DE PUERTO LOPEZ (META).**

**OMAR ORLANDO VELÁSQUEZ CÁRDENAS
MAGDA PAOLA TORRES TINJACA**

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
BOGOTA D.C. 2020**

**EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DE LA TEMPERATURA DE SUPERFICIE EN
COBERTURAS DE BOSQUES Y AREAS SEMINATURALES Y TERRITORIOS
AGRICOLAS DEL MUNICIPIO DE PUERTO LOPEZ (META).**

**OMAR ORLANDO VELÁSQUEZ CÁRDENAS
MAGDA PAOLA TORRES TINJACA**

**Trabajo de Grado presentado como
Requisito para optar al título de
Especialista en Sistemas de Información Geográfica**

Director

**Andrés Felipe Carvajal, Dr.
Luis Raúl Echeverry, MsC.**

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y CIVIL

ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

BOGOTA D.C. 2020

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

Desde hace aproximadamente 20 años, las imágenes de resolución moderada MODIS, con sus satélites Terra y Aqua, han proporcionado imágenes que han permitido comprender diferentes procesos que ocurren en el globo terrestre. Las imágenes se caracterizan por su alta resolución radiométrica, con 12 bits distribuidos en 36 bandas del espectro electromagnético, con un sensor que envía radiación a cada región de los espectros visible, infrarrojo cercano, infrarrojo medio e infrarrojo térmico.

En este contexto, el objetivo principal del presente estudio es analizar los datos de temperatura de superficie terrestre, obtenidos de las imágenes MODIS, sobre coberturas vegetales heterogéneas de bosques y áreas seminaturales (B), que comprenden árboles, arbustos y herbáceas, y, en territorios agrícolas (T), que son los dedicados a cultivos permanentes y transitorios y que pueden estar asociados con pastos.

En primer lugar, sobre una serie de imágenes de temperatura de superficie del sensor MODIS, que tienen una periodicidad de 8 días, se seleccionan los grupos de puntos ubicados sobre coberturas de bosque y zonas agrícolas, con porcentajes de distribución aproximada del 50% para cada una, verificando la selección de los grupos utilizando el mapa de coberturas de Colombia que se obtuvo en <http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas>.

Se continuó el estudio con la información de temperatura de superficie obtenida del sensor, almacenando las imágenes generadas que contienen los registros de 16 años (2003 a 2019). De ellos resultan dos documentos (DocumentoFinal_Día y DocumentoFinal_Noche), que son los utilizados para el análisis estadístico, con el propósito de determinar si hay diferencias significativas entre los conjuntos de datos analizados para la Temperatura de Superficie de Día y de Noche, entre las dos coberturas bajo investigación, en el Municipio de Puerto López (Meta).

En el análisis estadístico de “medidas de resumen”, haciendo una comparación entre coberturas se encontró una marcada diferencia de temperatura entre B y T para la Ts en el día, en dónde los territorios agrícolas (T) muestran mayores valores en temperaturas máximas y el bosque muestra mayores registros en temperaturas mínimas. Sin embargo, en la noche la Ts es similar para B y T. Al comparar entre grupos en el día, se encuentran comportamientos similares en los valores máximos y medios, con la generalidad de ser superior la Ts en zonas agrícolas. En la noche las temperaturas entre grupos son similares. En el análisis por meses en el día, la Ts es mayor en territorios agrícolas respecto a los bosques. En la noche, el comportamiento de la Ts por meses arroja valores similares para bosque y territorio agrícola. En la revisión del comportamiento de la Ts en el día, comparado entre años se encontró que la Ts es mayor en bosque para los años 2005 y 2009 a 2012 y que en la media, a lo largo de los 16 años la Ts es superior en territorio agrícola. Para la Ts en la noche, comparada entre años, los valores son similares para B y T en temperatura máxima.

En la prueba de análisis estadístico no paramétrico, dónde se utilizó el método de Kruskal Wallis, la comparación entre coberturas muestra diferencias significativas entre B y T en el día, mientras que en la noche la Ts no arroja diferencias entre coberturas. Haciendo el análisis para grupos en el día, se encuentran diferencias entre todos, inclusive entre las dos coberturas. En la noche no existen diferencias marcadas al realizar el análisis de varianza. Se presentan diferencias significativas para la comparación entre los meses al realizar el análisis de varianza para los datos del día. Para la Ts en la noche, no se presentan diferencias significativas para los meses de enero, mayo a agosto, noviembre y diciembre. Los análisis de temperatura de superficie para el

comparativo entre años en el día, muestran diferencias significativas para todos los años entre B y T. En la noche se encuentran diferencias para los años 2003 y 2015.

Los resultados de este estudio permiten afirmar que se presentan diferencias significativas para la temperatura de superficie en el día, para las dos coberturas, en donde los territorios agrícolas presentan valores máximos en la temperatura máxima y media, mientras que, en la temperatura mínima, es el bosque el que muestra los mayores valores, este comportamiento en general se mantiene al realizar comparaciones entre grupos, meses y años. Los valores similares para la temperatura de superficie en la noche, se ven marcadamente influenciados por la época lluviosa, y, en la época de menor precipitación, las diferencias entre las temperaturas de B y T no son significativas.

ABSTRACT

For approximately 20 years, MODIS moderate resolution images, with its Terra and Aqua satellites, have provided images that have allowed us to understand different processes occurring on the globe. The images are characterized by their high radiometric resolution, with 12 bits distributed in 36 bands of the electromagnetic spectrum, with a sensor that sends radiation to each region of the visible, near-infrared, mid-infrared and thermal-infrared spectral.

In this context, the main objective of the present study is to analyze the land surface temperature data, obtained from MODIS images, on heterogeneous vegetation cover of forests and semi-natural areas (B), comprising trees, shrubs and herbaceous, and, in agricultural territories (T), which are those dedicated to permanent and transitory crops and may be associated with pastures.

First, on a series of surface temperature images from the MODIS sensor, which have a periodicity of 8 days, the groups of points located on forest cover and agricultural areas are selected, with a distribution percentage of approximately 50% for each, verifying the selection of the groups using the map of cover of Colombia obtained at <http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas>.

The study was continued with the surface temperature information obtained from the sensor, storing the images generated containing the records of 16 years (2003 to 2019). From there two documents turn out (Final Day Document and Final Night Document), which are used for statistical analysis, were produced in order to determine if there are significant differences between the data sets analyzed for Day and Night Surface Temperature, between the two coverages under investigation, in the Municipality of Puerto López (Meta).

In the statistical analysis of "summary measurements", making a comparison between coverages, a marked difference in temperature between B and T was found for the Ts in the day, where the agricultural territories (T) show higher values in maximum temperatures and the forest shows higher records in minimum temperatures. However, at night the Ts is similar for B and T. When comparing between groups during the day, similar behaviours are found in the maximum and average values, with the Ts generally being higher in agricultural areas. At night the temperatures between groups are similar. In the analysis by months in the day, the Ts is higher in agricultural territories with respect to forests. At night, Ts behavior by months gives similar values for forest and agricultural territory. In the review of the Ts behavior during the day, compared between years it was found that the Ts is higher in forest for the years 2005 and 2009 to 2012 and that in the average, over the 16 years the Ts is higher in agricultural territory. For the Ts at night, compared between years, the values are similar for B and T in maximum temperature.

In the non-parametric statistical analysis test, where the Kruskal Wallis method was used, the comparison between coverages shows significant differences between B and T during the day, while at night the Ts shows no difference between coverages. By doing the analysis for groups in the day, differences are found between all of them, including between the two coverages. At night there are no marked differences when performing the analysis of variance. There are significant differences for the comparison between months when performing the analysis of variance for daytime data. For Ts at night, there are no significant differences for the months of January, May to August, November and December. The analyses of surface temperature for the

comparison between years in the day, show significant differences for all years between B and T. In the night, differences are found for the years 2003 and 2015.

The results of this study allow us to affirm that significant differences are presented for the surface temperature during the day, for both covers, where the agricultural territories present maximum values in the maximum and average temperature, while, in the minimum temperature, it is the forest that shows the highest values, this behavior in general is maintained when making comparisons between groups, months and years. Similar values for surface temperature at night are markedly influenced by the rainy season, and in the season of lower precipitation, the differences between B and T temperatures are not significant.

CONTENIDO

<i>INTRODUCCIÓN</i>	13
1. <i>OBJETIVOS</i>	15
1.1 Objetivo general	15
1.2 Objetivos específicos.....	15
2. <i>MARCO TEORICO Y ESTADO DEL CONOCIMIENTO</i>	16
2.1 Teledetección	16
2.3 Sensor MODIS	16
2.3 LST (Land Surface Temperature)	18
2.4 Coberturas de la tierra	23
4. <i>METODOLOGÍA</i>	24
4.1 Área de estudio.....	24
4.2 Toma de grupos para análisis de temperatura superficial (LST)	25
4.3 Obtención de los datos del Sensor MODIS.....	26
4.4 Análisis de datos.....	37
5. <i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	38
5.1 Análisis en las temperaturas de superficie día y noche en las coberturas Bosques o áreas seminaturales(B) y territorios agrícolas(T).	38
5.2 Análisis en las temperaturas de superficie día y noche en las coberturas Bosques o áreas seminaturales (B) y territorios agrícolas (T) por grupos.	41
5.3 Análisis en las temperaturas de superficie día y noche en las coberturas Bosques o áreas seminaturales(B) y territorios agrícolas(T) por meses.	44
5.4 Análisis en las temperaturas de superficie día y noche en las coberturas Bosques o áreas seminaturales(B) y territorios agrícolas(T) por años.....	48
5. <i>CONCLUSIONES</i>	51
6. <i>RECOMENDACIONES</i>	55

Índice de Figuras

Figura 1. Propagación de ondas electromagnéticas de ondas electromagnéticas.	19
Figura 2. Ubicación área de estudio.....	24
Figura 3. Selección de grupos imagen MODIS	25
Figura 4. Superposición grupos mapa de Coberturas de Colombia 2010-2012	26
Figura 5. Diagrama de metodología.....	27
Figura 6. Selección de imagen a utilizar en MODIS	29
Figura 7. Selección AccessData y Nasa EarthData Search.....	29
Figura 8. Selección LaunchNasaEarthDataSearch y MYD11A2	30
Figura 9. Selección zona de estudio y obtención link de descarga archivos .hdf.....	30
Figura 10. Datos a seleccionar del producto	31
Figura 12. Obtención archivos .hdf.....	32
Figura 13. Configuración Script ExtraccionBandasTS.....	32
Figura 14. . Imágenes obtenidas con el Script ExtraccionBandasTS	33
Figura 15. Configuración del Script ExtraerDatosTS_R.py	33
Figura 16. Archivos Excel obtenidos con el Script ExtraerDatosTS_R.py	34
Figura 17. Configuración del Script TransponerDatos.py	34
Figura 18. Archivos Excel obtenidos con el Script TransponerDatos.py	35
Figura 19. Configuración del Script CeldasCompletar.py.....	35
Figura 20. Archivos Excel obtenidos con el Script CeldasCompletar.py.....	36
Figura 21. Configuración del Script Unirrdf.py.....	36
Figura 22. Ts día Bosques y áreas seminaturales vs Territorios agrícolas	39
Figura 23. Ts noche Bosques y áreas seminaturales vs Territorios agrícolas.....	39
Figura 24. Ts día por grupos	42
Figura 25. Ts noche por grupos	42
Figura 26. Ts día por meses	44
Figura 27. Ts día por noches.....	45

Indice de Tablas

Tabla 1. Datos Ts dia y noche(2003-2019) según coberturas.....	38
Tabla 2. Prueba Kruskal Wallis Ts dia	40
Tabla 3. Prueba Kruskal Wallis Ts noche.....	41
Tabla 4. Prueba Kruskal Wallis para grupos noche.....	43
Tabla 5. Prueba Kruskal Wallis dia por meses	47
Tabla 6. Prueba Kruskal Wallis noche por meses.....	47
Tabla 7. Prueba Kruskal Wallis noche por años	50

INTRODUCCIÓN

El cambio de las coberturas terrestres ha demostrado en los últimos años su influencia directa sobre el cambio climático, toda vez que estas modificaciones de cobertura conllevan a usos que provocan la disminución de los bosques como urbanismos, construcción de vías, adaptación de terrenos para agricultura, ganadería y otros usos de suelo que conllevan a suplir las "necesidades" humanas, afectando de manera directa el funcionamiento de los ciclos ecosistémicos como la depuración de agua, control de plagas, polinización, regulación climática entre otros y los servicios que de ellos se derivan tales como el aprovisionamiento de alimentos, maderas, fibras, agua, disfrute de recreación y turismo.

Teniendo en cuenta que es evidente que el cambio de las coberturas terrestres influye en el cambio climático, uno de los mayores desafíos actuales de la humanidad, es tiempo de hacer frente a la situación y generar métodos investigativos que conlleven a la creación de modelos numéricos que permitan la predicción de las variables atmosféricas a escala global, regional y local, no sólo a corto plazo, sino también a mediano y largo plazo estudiando el comportamiento de los cambio de cobertura y su relación en la afectación en el cambio climático y calentamiento global.(Díaz Castro, 2009).

El desarrollo de los sensores remotos se ha venido acrecentando en los últimos 20 años, lo que ha permitido obtener información de toda la superficie terrestre y marítima, por medio de satélites geoestacionarios que toman datos diarios de la tierra (Internacional, 2013), siendo una de las fuentes primarias para la conformación de bases de datos fiables, que permiten estudiar la interacción entre los patrones espaciales y los procesos ecológicos (Cushman, 2005).

Considerando que la FAO indica que la información que se tiene sobre bosques es obsoleta, parcial o subjetiva, careciendo de precisión y exactitud, se hace necesario mejorar su monitoreo y evaluación para sensibilizar sobre el potencial que tienen las áreas boscosas para mitigar los efectos en el cambio climático (Busso, 2017). Este trabajo de grado se realiza como una propuesta para el Municipio de Puerto López(Meta) conducente a realizar un análisis multitemporal comparativo de temperatura del suelo y otros tipos de cobertura (bosques y áreas seminaturales y territorios agrícolas) según la Leyenda Corine Land Cover (Ministerio del Medio Ambiente, 2010), Para esta investigación, se aprovecharán los datos de Temperatura de superficie del satélite MODIS (Espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada) y específicamente con el producto MOD11A2 que tiene un resolución temporal de 8 días y se alazaras un periodo de dentro del periodo 17 años comprendidos por los años 2003 hasta 2019, lo que permitirá el análisis establecer el comportamiento de temperaturas de Bosques y áreas seminaturales y territorios agrícolas en el municipio de Puerto Lopez (Meta) en este periodo de tiempo.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Evaluar la variación de la temperatura en coberturas de bosques y áreas seminaturales y en territorios agrícolas en el municipio de Puerto López (Meta), mediante el estudio de imágenes satelitales MODIS para el periodo 2003-2019.

1.2 Objetivos específicos

- Describir el comportamiento de la temperatura de la superficie bajo las coberturas de bosques, áreas seminaturales y territorios agrícolas, entre los años 2003-2019.
- Analizar las diferencias de la temperatura superficial entre Bosques, áreas seminaturales y territorios agrícolas entre los años 2003 y 2019.

2. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL CONOCIMIENTO

2.1 Teledetección

La teledetección es la toma de datos de la superficie de la tierra a partir de sensores ubicados en plataformas espaciales, en donde la interacción electromagnética le permite al sensor generar una serie de datos que son procesados para que los usuarios puedan hacer interpretable la información obtenida. La técnica se inició en el año 1971, cuando fue lanzado al espacio el primer satélite por Estados Unidos; hoy en día son múltiples las entidades públicas y privada que realizan el uso de imágenes en sus proyectos por la ventaja de aplicaciones que son muy ventajosas para la obtención de información de cambios sobre la cobertura terrestre, rendimiento de cultivos, monitorización de desastres naturales, entre otros. (Nacional & Copernicus, 2019)

Las aplicaciones de la técnica de la teledetección abarca diversas ciencias, aportando ventajas por su capacidad de obtener datos de áreas que son inaccesibles por otros medios, permite detectar grandes espacios, se garantiza la toma de datos espacialmente homogéneos en diferentes horas del día y la recepción de información que no es visible el ojo humano, para lo cual los sensores utilizan el espectro electromagnético la cual es la organización de la energía en bandas según la onda de frecuencia. (Chuvieco, 1990).

2.3 Sensor MODIS

El Espectroradiómetro de Imagen de Resolución Moderada (MODIS por su sigla en inglés), corresponde con un instrumento que poseen dos satélites llamados Terra y Aqua del sistema de observación terrestre de la NASA, efectuando recolección de imágenes satelitales en periodos de

uno a dos días utilizando 36 bandas espectrales, lo que permite mejorar el entendimiento frente a los procesos ocurridos en el globo terrestre. (Arredondo., 2005).

El satélite Terra, es una misión que fue lanzada en febrero del año 1999 que involucra agencias aeroespaciales de Japón y Canadá, y se encuentra en una órbita polar que lo lleva de norte a sur cada 99 minutos (NASA Official, 2010) y el satélite Aqua fue lanzado en mayo de 2002, cuya finalidad es el estudio a largo plazo de la dinámica de la tierra y sus implicaciones en el cambio global.

De las características específicas del sensor MODIS, se resalta la alta sensibilidad radiométrica, posee 12 bits distribuidos en 36 bandas del espectro electromagnético con ondas que van de los 0.4 a 14.4 μm ., la resolución de estas bandas va de 250 m . a 1 km, distribuidas de las siguiente forma; dos poseen una resolución espacial de 250 m., 5 bandas de 500 m, y las 29 bandas restantes de 1 km. Posee un conjunto de espejos que rotan continuamente escaneando con un ángulo promedio de 55 grados y el sistema óptico posee un telescopio afocal que tiene dos espejos que envían la radiación a cada región de los espectros visible, infrarrojo cercano, infrarrojo medio e infrarrojo térmico. (Amaral et al., 2013).

Los productos de MODIS se dividen en 5 niveles que van de 0 a 4, que dependen del grado de procesamiento que realicen, para el presente estudio se tomarán los del Nivel 3, que presentan compuestos de intervalos de 1 día, 8 días ,16 días y 30 días y para el presente estudio solo se uso el producto de 8 días y específico para temperatura de superficie terrestres (MOD11A2), la temperatura es medida en grados kelvin, con resolución espacial de pixel de 1000 m. y el algoritmo split-window (SW) permite tomar el estimativo de la temperatura con una serie de imágenes diurnas y nocturnas tomadas con el cielo despejado en cualquier cobertura de suelo. (Amaral et al., 2013).

2.3 LST (Land Surface Temperature)

La Temperatura de la Superficie terrestre , es definido como un parámetro esencial para comprender el ambiente terrestre (Smith, J.A.; Chauhan, N.S.; Schmugge, T.J.; Ballard, 1997), que mide el calentamiento directo de la superficie terrestre donde los rayos del sol son absorbidos y re-emitidos (SNIA, 2016), y que controla procesos provenientes del ciclo de la energía de la superficie, entre los que se considera el transporte del calor y el agua entre la superficie y la atmósfera y sirve para aplicar en modelos ambientales dentro de los que se encuentran la variabilidad climática, puesto que solo mediante la teledetección de satélites se puede realizar mediciones de temperatura a escala regional o global (Castro-díaz, 2013). Una deficinión simple es que tan caliente se siente la superficie de la tierra al tacto de un lugar en particular.(ESA, 2013).

Cuando se recupera la temperatura de la superficie de la tierra mediante tecnologías de teledetección, se comprende la naturaleza de la radiación electromagnética y cómo esta interactúa con la materia, en donde la luz solar es el espectro de radiación más conocido, que puede verse representado en ondas electromagnéticas que se propagan a través del espacio o la materia. Cuando un rayo de luz (E) golpea un objeto, por lo general una parte de la energía se absorbe (E_A), otra se refleja (E_R) y otra se transmite a través del mismo objeto (E_T) (Figura 1). (Zarco et al., 1996)

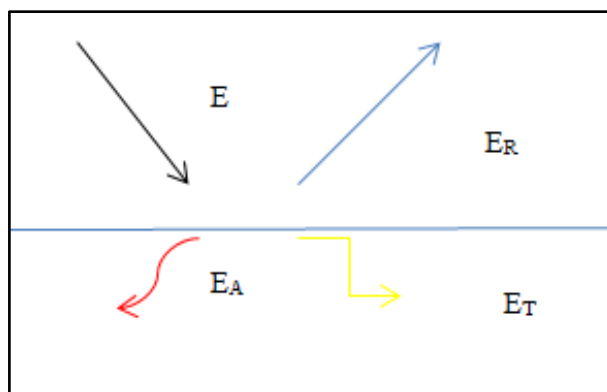


Figura 1. Propagación de ondas electromagnéticas de ondas electromagnéticas.

Fuente. (Zarco et al., 1996)

Es importante resaltar que en la teledetección, LST se define como la "temperatura radiométrica de superficie" correspondiente al campo de visión instantáneo del sensor y por ende el LST al ser la suma de las emisiones térmicas por cada unidad de área sometida al tamaño por pixel en el sensor, se convierte en una limitante en la diferenciación de un suelo agrícola y otro rocoso, (Castro-díaz, 2009.) además de llevar modificaciones en los datos capturados que se consideran como errores que deben ser corregidos en el análisis de los datos para entregar una información confiable. (Prata, 1993).

La temperatura de la superficie terrestre (LST) es uno de los parámetros claves en los procesos físicos de la superficie terrestre, que puede ser verificado en escalas regionales y globales, gracias a los datos satelitales y que han sido utilizados en estudios hidrológicos, meteorológicos, y en desastres naturales (Jamei et al., 2019); Existen estudios que demuestran que las coberturas vegetales ayudan a mantener la temperatura superficial baja y la sustitución de las coberturas de las mismas por otras superficies, origina un aumento en las temperaturas tanto superficiales como atmosféricas (Uribe, 2012); que pueden ser evidenciadas en datos de emisividad de la temperatura, en donde se demuestra que en el bosque espesola temperatura del suelo es generalmente baja, y en el suelo desnudo sin vegetación la emisividad de la

temperatura de la superficie se vuelve alta (Anderson et al., 2008), por lo cual se determina que la obtención de datos de LST y su procesamiento, es importante para permitir evaluar su comportamiento frente a coberturas con bosque y terrenos agrícolas.

Teniendo en cuenta los avances tecnológicos, se aprovecha la toma de información que arroja los satélites meteorológicos como NOAA-AVHRR, ERSATSR, Landsat, Meteosat-MVIRI y Terra-Aqua-MODIS y Terra-Aster; usados como parte del complemento de las investigaciones que se han realizado tras años frente al cambio climático y se avanza en el análisis de mayor número de datos en múltiples años, que permiten identificar variaciones de temperatura en diferentes coberturas de suelo.(Data, 2018)

Existen múltiples estudios alrededor del mundo sobre enfoques dados a monitorear la temperatura terrestre usando los datos de teledetección, en octubre de 2009, Langer y otros, realizan un estudio de la temperatura de superficie del suelo LST del permafrost en área remotas y accesibles con MODIS, tomando imágenes en un polígono de 1000 m² en áreas de tundra(vegetación subglacial) tomando datos de tres meses del 2008; los resultados en tan corto tiempo pudieron dar evidencia de diferencia de temperatura de superficie de 6 °C y 12 °C entre tundras secas y húmedas, siendo mayor la temperatura de superficie de las tundras secas. (Langer et al., 2010).

Para el año 2013, Jimenez realiza un estudio aplicando imágenes de MODIS para caracterizar las zonas afectadas por incendios forestales en Aragón (España), utilizando varias metodologías dentro de las cuales estima la validación de la temperatura superficial del suelo utilizando el producto MOD11A2, encontrando limitaciones en su uso toda vez que cuando se presentaba el incendio, no se detecta inofacto sino posterior al mismo, provocado por la resolución espacial de 1 km, contaminando pixeles por efecto de borde lo que provocó una mezcla de la información y otro

inconveniente encontrado fue la ausencia de datos en varios píxeles de las imágenes lo que incidió en la posterior medida aritmética de cada mes para validar la información, pero a pesar de esto se pudo evidenciar la evolución de la temperatura promenorizada posterior a la ocurrencia de incendios forestales . (Cabello, 2013).

En 2018, Duveiller presenta los resultados de una investigación referente a la estimación del calentamiento de una zona al cambiar de uso del suelo, mostrando que la modificación en el uso puede provocar un aumento de temperaturas superficial del suelo de alrededor del $0.23\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 0.03$ y así mismo encontró que la transición de bosques tropicales de hoja perenne a cualquier otra cubierta vegetal da como resultado el calentamiento del clima local.(Duveiller et al., 2018).

En el año 2019 Palchaudhuri & Biswas, realizaron un estudio que aplica índices de vegetación empleando LISS III y MODIS terra de 16 días, para evaluar sequias en la India, teniendo en cuenta la muerte de millones de personas por las sequias, pretendiendo conseguir resultados encaminados a pronosticar la llegada de las sequias para que se pueda realizar un proceso de planificación y gestión adecuada de producción de cultivos. Los resultados arrojaron datos de los años y sitios en donde las sequias eran más extremos cumpliendo con los objetivos propuestos.(Palchaudhuri & Biswas, 2019)

Uno de los estudios actualizados (2020), referente a los datos de temperatura de superficie terrestre tomados de MODIS correlacionados con diferentes estaciones del año para el bosque caducifolio de hoja ancha, bosque de hoja perenne, mixto y pastizal complementados con datos de estaciones meteorológicas, mostraron que los resultados indican que el LST y el EVI(Índice de Vegetación mejorado) tienen gran capacidad para explicar el índice de GPP (Gross Primary Production- entendido como la síntesis de compuestos orgánicos a través de la producción de

dióxido de carbono en diferentes estaciones del año) encontrando que el verdor en la primavera fue útil para lograr la máxima absorción del carbono. (Xu et al., 2020)

En Colombia, Chuvieco y Palacios, realizan un acercamiento de datos del sensor MODIS (MOD09a1 y MOD13A1) respecto a las coberturas vegetales mediante la medición de biomasa en bosques tropicales en el año 2008, pudiendo establecer datos de biomasa por tipos de bosques primarios, bosques secundarios y pastizales clasificados en 5 regiones de Colombia (Chuvieco & Palacios-orueta, 2008) lo cual se podría correlacionar con la captación de dióxido de carbono; sin embargo, frente a la información que atañe este trabajo en Colombia, se encuentran publicados dos documentos en los años 2014 y 2017, en los que se analiza la LST en diferentes coberturas de la región andina relacionando índices de vegetación de diferencia normalizada (IVDN) y de agua de diferencia normalizada (TST) con imágenes Landsat de cuatro periodos (1989, 1997, 1998 y 2002), en donde se halla que las áreas de pasto presentan promedio mayor LST que las zonas urbanas y que las LST de las plantaciones de café son menores a las de plantaciones de árboles, sin embargo se asemejan en capacidad de enfriamiento. (Carvajal & Pabón, 2014).

En 2017, se demuestra que existe una relación directa entre el tamaño de la cobertura sobre sus condiciones térmicas, dado a que los promedios de temperatura de suelo y temperatura del aire varía de acuerdo al área que ocupe la cobertura y que la relación entre estas temperaturas puede servir para monitorear cambios del clima a nivel regional o local, causados por actividades agrícolas o pecuarias y que se debe tener cuidado que esta relación es sensible a las fluctuaciones de humedad del suelo que se pueden asociar a fenómenos de el Niño o Niña. (Carvajal, 2017),.

2.4 Coberturas de la tierra

Es necesario precisar el concepto de cobertura de tierra, el cual fue definido como la cobertura física observada sobre la superficie de la tierra (IDEAM, 2014a) . Este término no solo abarca el tipo de vegetación o elementos antrópicos que existen en la tierra, sino que también cuerpos de agua y afloramientos rocosos; el proceso de adopción para la leyenda en Colombia, se realizó mediante una metodología de la comunidad europea , que fue acogida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, consistente en evaluar las coberturas de tierra bajo las imágenes generadas por el satélite Landsat, para la construcción de mapas de coberturas en diferentes escalas llamada Corine Land Cover (IDEAM, 2014b).

Para el presente estudio, como base compartativa y estandarizada de usos de suelo se realizará la evaluación de temperatura superficial de suelo correspondiente a las siguientes coberturas y se detalla su descripción:

- **Territorios Agrícolas:** Son terrenos que se dedican a la producción de alimentos, materias industriales que pueden ser asociados con pastos. Los cultivos pueden ser permanentes o transitorios y los pastos pueden ser dados para usos pecuarios.
- **Bosques y Áreas seminaturales:** Esta cobertura comprende todo tipo de cobertura boscosa, arbustiva y herbácea ya sea natural o como resultado de manejo antrópico como plantaciones forestales o vegetación secundaria o en transición.

4. METODOLOGÍA

4.1 Área de estudio

El estudio se realizó en el Municipio de Puerto López en el departamento del Meta, Colombia(Figura 2). Las coordenadas del Municipio son 4°05'23" Latitud Norte y 72°57'43" al Oeste del Meridiano de Greenwich, posee una extensión de 6.740 Km², limita al norte con Cumaral, Cabuyaro y el departamento de Casanare; al oriente con el municipio de Puerto Gaitán; al sur con el municipio de San Martín, y al occidente con los municipios de San Carlos de Guaroa y Villavicencio. La temperatura promedio es de 26°C, con una precipitación promedio de 2.600 mm/año. (El semillero, 2011)

Las actividades económicas de Puerto López corresponden principalmente al sector de la ganadería, seguida por la Agricultura y la Pesca; esencialmente en el área rural. En el área urbana se presentan actividades económicas básicamente de Comercio, Servicios TurísticosFinancieros, Institucionales y la Pesca.(Semillero, 2011).

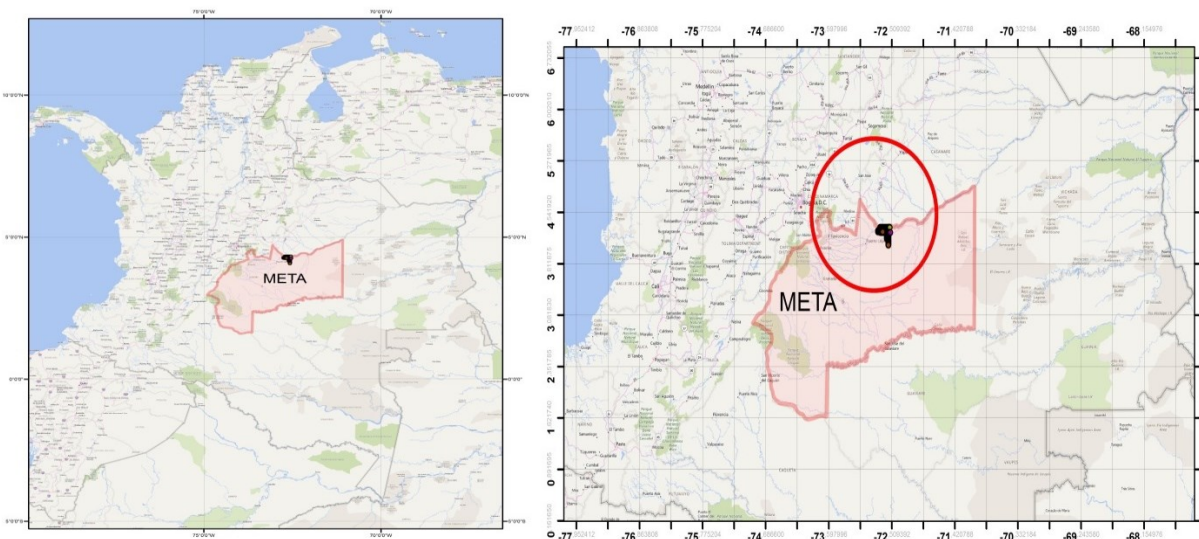


Figura 2. Ubicación área de estudio

4.2 Toma de grupos para análisis de temperatura superficial (LST)

Para la elaboración del presente trabajo, fue necesario la selección de seis (6) grupos para la captura de los valores de temperatura superficial, para lo cual se siguieron los siguientes pasos:

- Se capturó una muestra de imágenes de temperatura superficial del sensor MODIS proyectadas en GCS WGS 1984 correspondiente a la zona 18N, para generar una grilla con una resolución de pixeles de 1 Km² con la ayuda del programa ArcMap 10.5, de esta grilla se seleccionaron los centroides de los pixeles de la imagen y con base a los pixeles se contruyeron los diferentes grupos de puntos (Figura 3), correspondientes a Bosques y áreas seminaturales y territorios agrícolas procurando un 50% para cada cobertura.
- Se verificó la creación de los grupos con el mapa de coberturas de Colombia 2010-2012 descargado de la página <http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas> de acuerdo al objetivo propuesto (Figura 4), teniendo en cuenta que las imágenes MODIS nos permiten tener pixeles de 1 km, por lo cual se acude a la Leyenda Nacional de Coberturas para estandarizar las características de las áreas a evaluar mediante el análisis multitemporal.

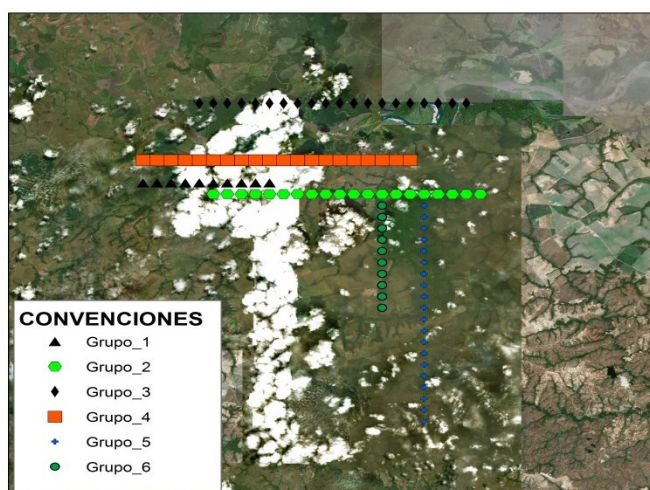


Figura 3. Selección de grupos imagen MODIS

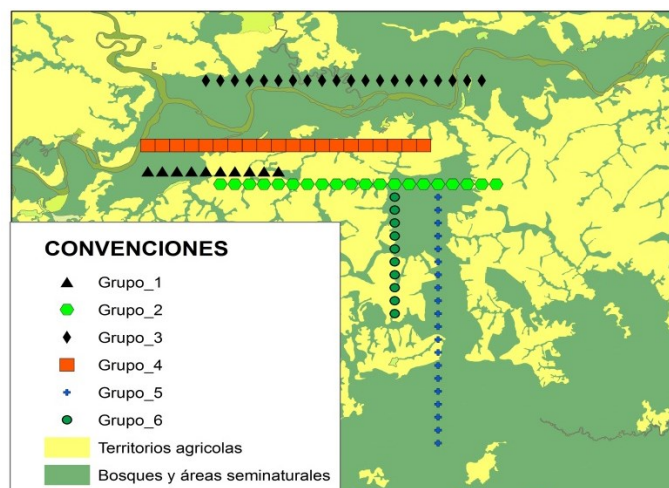


Figura 4. Superposición grupos mapa de Coberturas de Colombia 2010-2012

4.3 Obtención de los datos del Sensor MODIS

Para la obtención de datos del sensor MODIS se siguió una serie de pasos que conllevaron a generar la información de forma sintetizada debido a la cantidad de información existente para el periodo de los 16 años (2003-2019), que se simplifica en el diagrama (Figura 5), y que se desarrolla a continuación mostrando a través de pantallazos la metodología utilizada para procesar la información y obtener la base de datos que permite el análisis del presente trabajo.

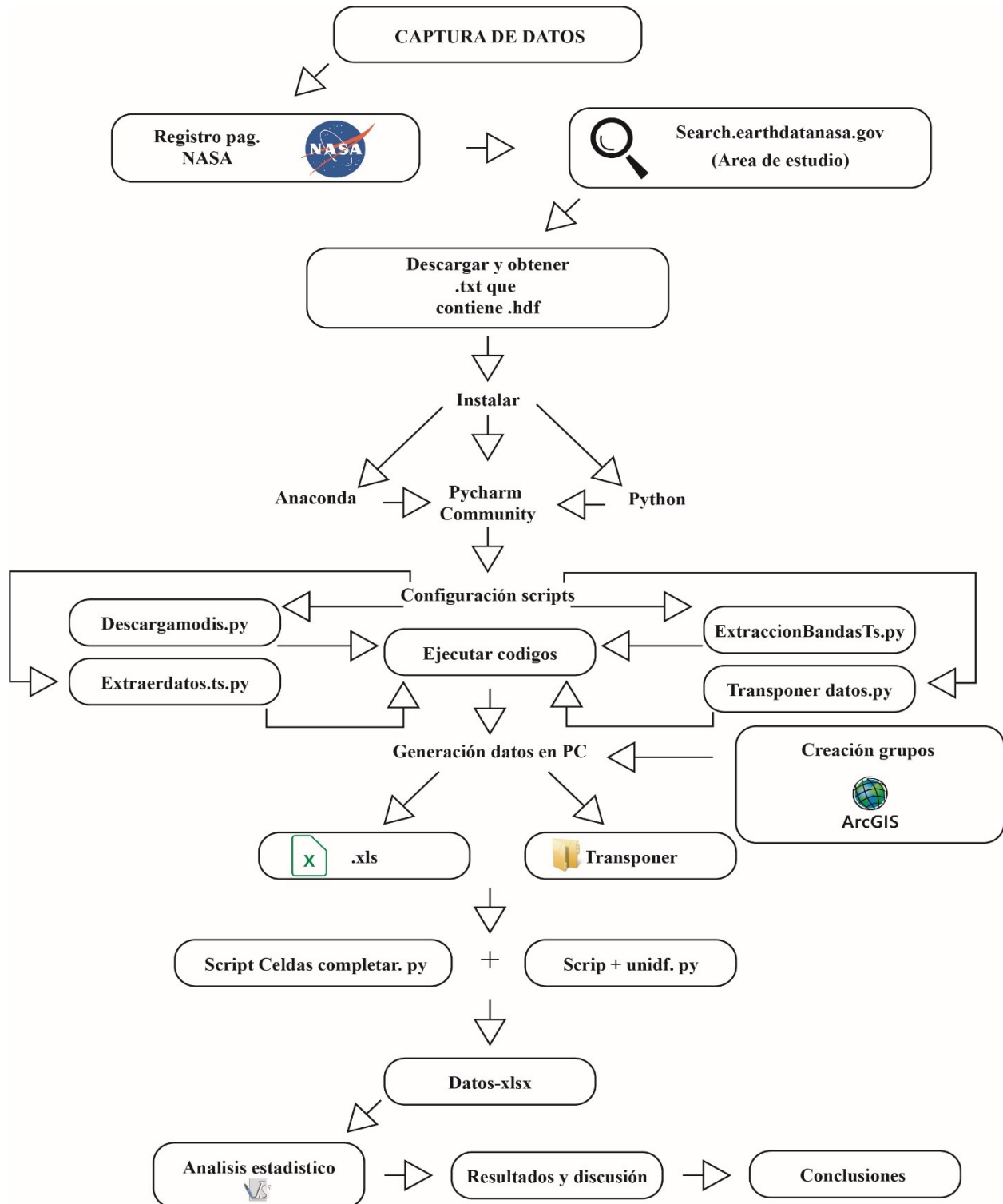


Figura 5. Diagrama de metodología

Se realizó la instalación del lenguaje de programación de código abierto “Python versión 3.8.3”, y el programa “Anaconda2 versión 5.1.0”. Seguidamente utilizando “Anaconda Prompt” se realiza la construcción de un entorno virtual y efectua la instalación de las siguientes líneas de código :

```
>>>conda create -n diplomado Python
```

```
>>>conda update -n base conda
```

```
>>>conda activate diplomado
```

```
>> conda install gdal
```

```
>> pip install pymodis
```

```
>>>conda install -c anaconda pandas
```

```
>>>conda install numpy
```

```
>>>conda install pandas
```

```
>>>pip install -U wxpython
```

```
>>>pip install wxpython
```

```
>>>conda install -c anaconda openpyxl
```

Una vez configurado el entorno virtual del proyecto, se procede a la descarga de las imágenes, para esto se ingresa a la página de MODIS <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod11.php>, en dónde encontramos la información sobre temperatura de superficie (Land Surface temperature). Para el presente estudio, se utilizaron imágenes MOD11A2 que presentan una periodicidad de 8 días (Figura 6):

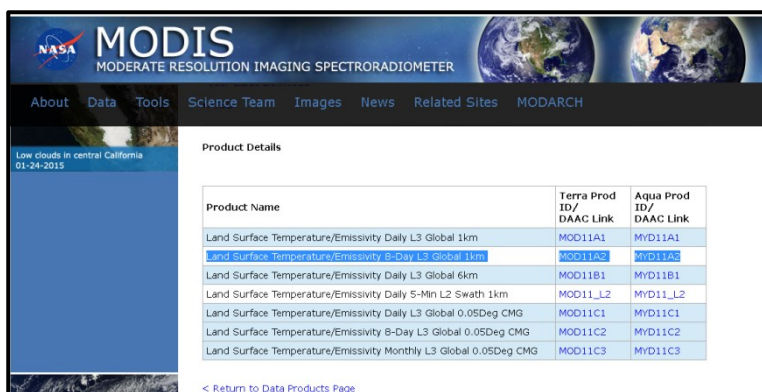


Figura 6. Selección de imagen a utilizar en MODIS

Fuente. <https://modis.gsfc.nasa.gov/>

Al acceder a la opción MOD11A2 arriba resaltada, se selecciona ACCESS DATA y posteriormente NASA EARTHDATA SEARCH (Figura 7).

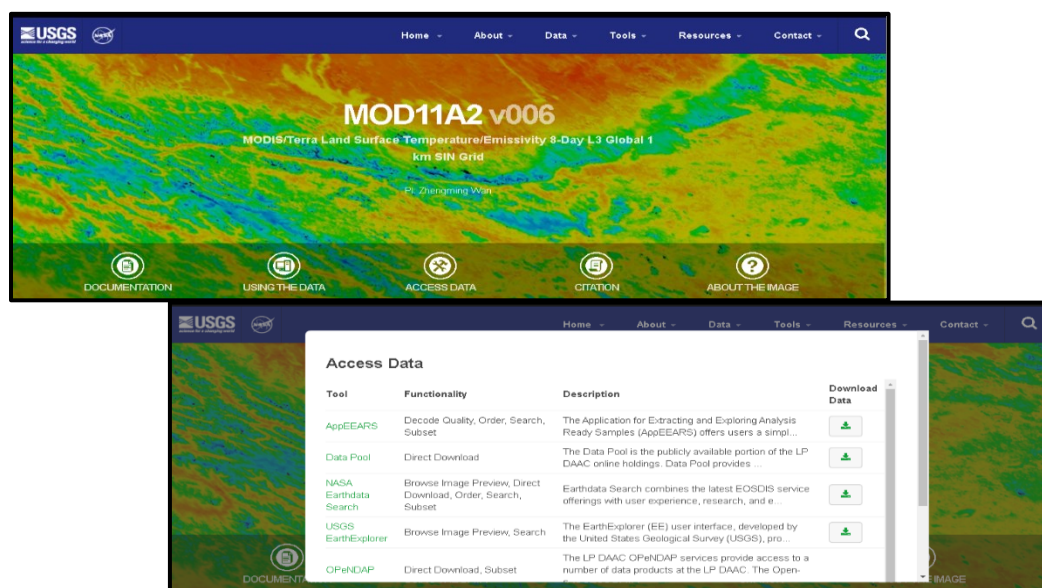


Figura 7. Selección AccessData y Nasa EarthData Search

Fuente. <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod11a2v006/>

En esta sección se da click en LAUNCH NASA EARTHDATA SEARCH, se hace el registro en la página EARTHDATA, se realiza la búsqueda por el producto de interés que para el caso es MYD11A2 (Figura 8).

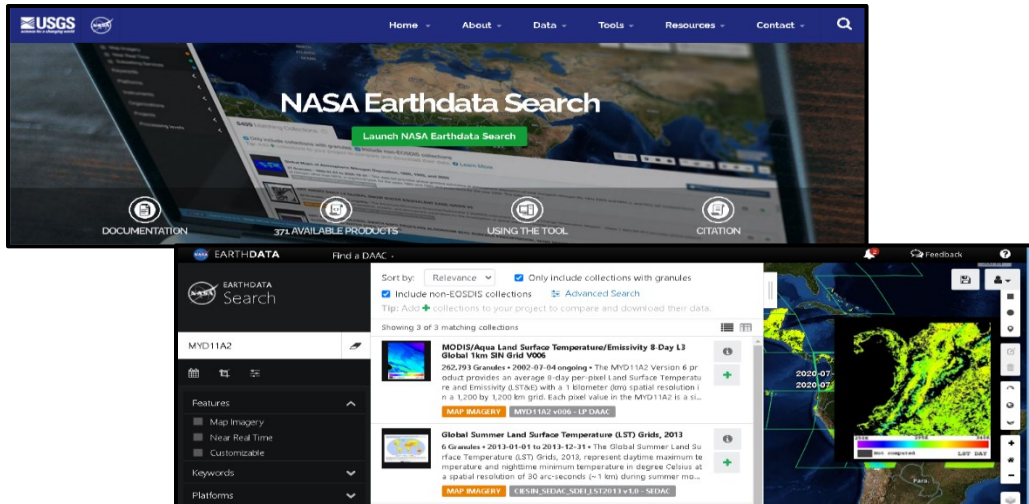


Figura 8. Selección LaunchNasaEarthDataSearch y MYD11A2

Fuente. <https://lpdaac.usgs.gov/tools/earthdata-search/>

Se selecciona el área de estudio que para este caso es Colombia, la cual se ubica en la horizontal 10 y la vertical 8, la plataforma genera un link de descarga (Figura 9).

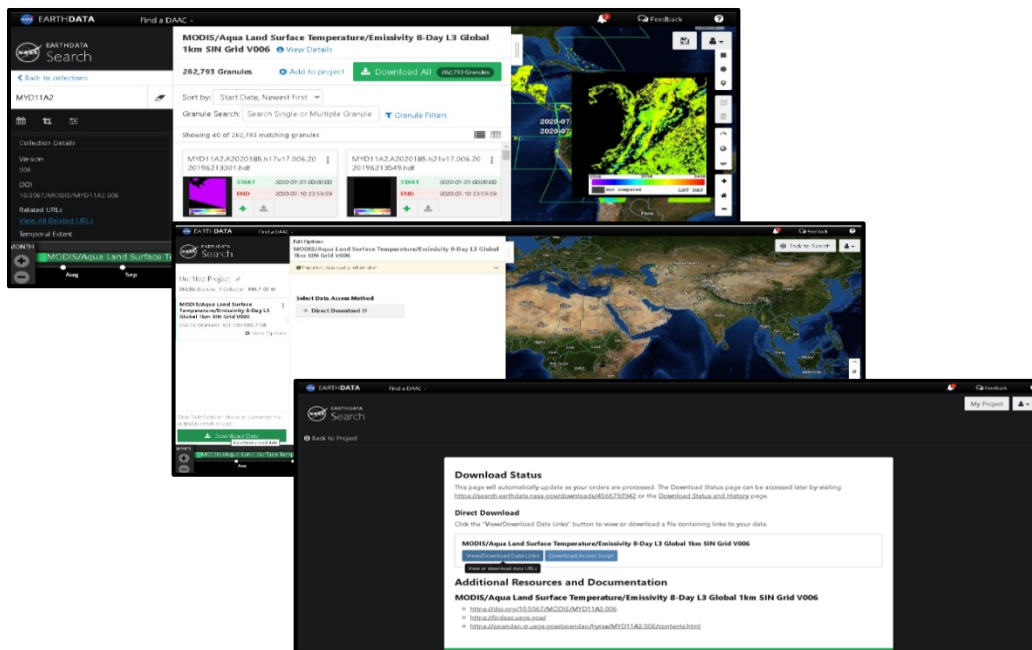
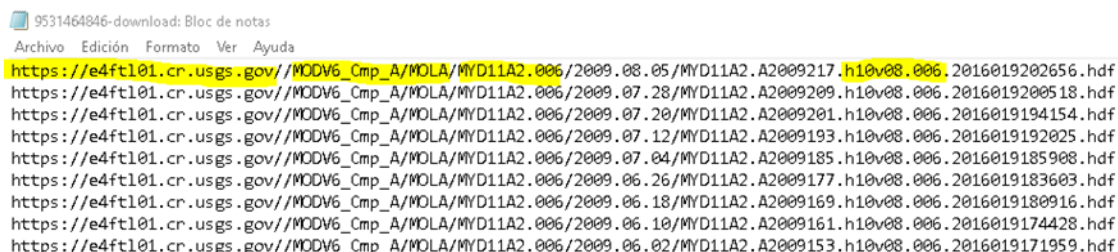


Figura 9. Selección zona de estudio y obtención link de descarga archivos .hdf

Fuente. <https://search.earthdata.nasa.gov/search>

Con el link se obtiene un archivo .txt que contiene todos los archivos .hdf para descarga; este archivo contiene la url, el producto , las fechas, la vertical y horizontal que se utilizaron en el proyecto (Figura 10).



```

9531464846-download: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
https://e4ft101.cr.usgs.gov/MODV6_Cmp_A/MOLA/MYD11A2.006/2009.08.05/MYD11A2.A2009217.h10v08.006.2016019202656.hdf
https://e4ft101.cr.usgs.gov/MODV6_Cmp_A/MOLA/MYD11A2.006/2009.07.28/MYD11A2.A2009209.h10v08.006.2016019200518.hdf
https://e4ft101.cr.usgs.gov/MODV6_Cmp_A/MOLA/MYD11A2.006/2009.07.20/MYD11A2.A2009201.h10v08.006.2016019194154.hdf
https://e4ft101.cr.usgs.gov/MODV6_Cmp_A/MOLA/MYD11A2.006/2009.07.12/MYD11A2.A2009193.h10v08.006.2016019192025.hdf
https://e4ft101.cr.usgs.gov/MODV6_Cmp_A/MOLA/MYD11A2.006/2009.07.04/MYD11A2.A2009185.h10v08.006.2016019185908.hdf
https://e4ft101.cr.usgs.gov/MODV6_Cmp_A/MOLA/MYD11A2.006/2009.06.26/MYD11A2.A2009177.h10v08.006.2016019183603.hdf
https://e4ft101.cr.usgs.gov/MODV6_Cmp_A/MOLA/MYD11A2.006/2009.06.18/MYD11A2.A2009169.h10v08.006.2016019180916.hdf
https://e4ft101.cr.usgs.gov/MODV6_Cmp_A/MOLA/MYD11A2.006/2009.06.10/MYD11A2.A2009161.h10v08.006.2016019174428.hdf
https://e4ft101.cr.usgs.gov/MODV6_Cmp_A/MOLA/MYD11A2.006/2009.06.02/MYD11A2.A2009153.h10v08.006.2016019171959.hdf

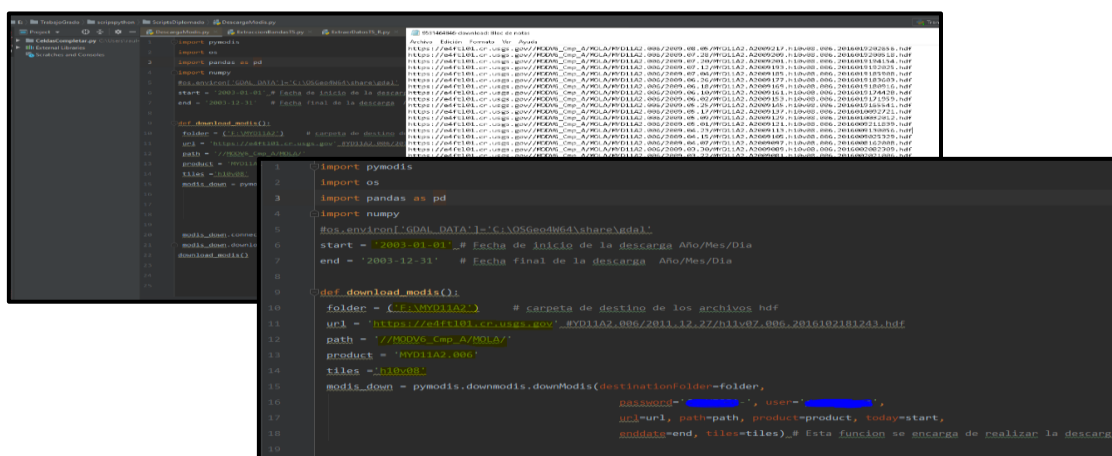
```

Figura 10. Datos a seleccionar del producto

Fuente.. <https://search.earthdata.nasa.gov/downloads/7926452623/collections/230392/links>

Utilizando el programa PyCharm versión 2020.1.2, se realizó la obtención y extracción de los datos de “temperatura de superficie” de la zona de estudio, por medio de la configuración y ejecución de los siguientes “scripts”:

- **DescargaModis.py**, (Echeverri, 2019) Con el que se configuró la información del archivo .txt, en dónde se modificaron los sectores que se encuentran resaltados en amarillo (Figura 11).



```

1 import pymodis
2 import os
3 import pandas as pd
4 import numpy
5 #os.environ['GDAL_DATA'] = 'C:\OSGeo4d\bin\sharc\gdal'
6 start = '2003-01-01' # Fecha de inicio de la descarga Año/Mes/Dia
7 end = '2003-12-31' # Fecha final de la descarga Año/Mes/Dia
8
9 def download_modis():
10     folder = ('E:\MOD11A2') # carpeta de destino de los archivos hdf
11     url = 'https://e4ft101.cr.usgs.gov/MYD11A2.006/2011.12.22/h10v07.006.201602181243.hdf'
12     path = '//MODV6_Cmp_A/MOLA/'
13     product = 'MYD11A2.006'
14     modis_down = pymodis.downmodis.downModis(destinationFolder=folder,
15     password='*****', user='*****',
16     url=url, path=path, product=product, today=start,
17     modisdate=end, tiles=tiles) # Esta función se encarga de realizar la descarga
18
19

```

Figura 11. Configuración Script DescargaModis.py

Fuente. Echeverri, 2019.

La carpeta de destino, dónde se almacenó la información extraída de las imágenes MODIS se denominó (C:\MYD11A2). En la figura 12, se muestran los archivos .hdf y .xml obtenidos del script “*DescargaModis*”

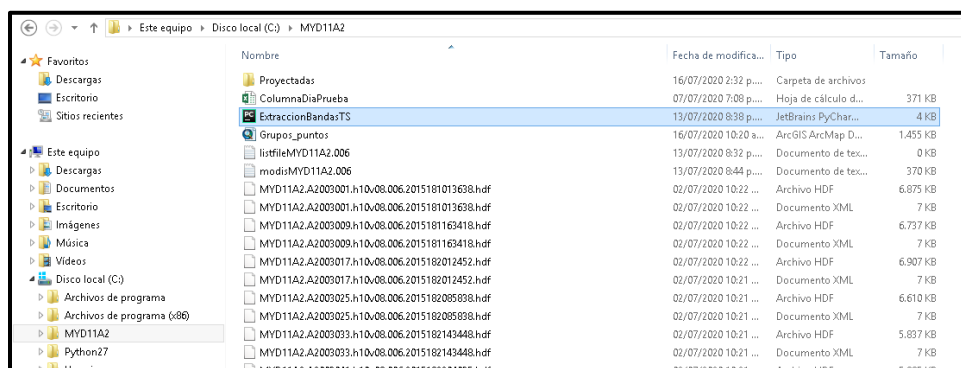


Figura 11. Obtención archivos .hdf

- ***ExtraccionBandasTs***, (Echeverri, 2019) Se creó una carpeta llamada “Proyectadas” con la siguiente ruta (F:\MYD11A2\Proyectadas), se configuraron los datos (Figura 13).

```

6 import glob
7 os.environ['GDAL_DATA'] = 'C:\OSGeo4W64\share\gdal'
8 #Par ejecutar este codigo verificar que la carpeta contenga el archivo HDF y el Documento XML de la descarga.
9
10
11 start = '2003-01-01'
12 end = '2003-01-31'
13 region = 'h10v08'
14 producto = 'MYD11A2'
15 entrada_hdf = 'F:\MYD11A2'# Esta linea indica la carpeta donde se encuentran los archivos .hdf
16 salida_imagenes = 'F:\MYD11A2\PROYECTADAS'# Esta linea indica donde se guardaran las imagenes proyectada
17 def transform_modis():
18     #Estas son las bandas que tienen el archivo HDF
19     """
20     #1 LST_Day_1km
21     #2 QC_Day
22     #3 Day_view_time
23     #4 Day_view_angl
24     #5 LST_Night_1km
25     #6 QC_Night

```

Figura 12. Configuración Script ExtraccionBandasTS

Fuente. Echeverri, 2019.

La carpeta de destino “Proyectadas” almacenó las imágenes obtenidas de los archivos .hdf. En la siguiente figura se muestran las imágenes obtenidas del script “*ExtraccionBandasTS*”. Para la correcta descarga de la información, la carpeta MYD11A2 debe contener además de la carpeta Proyectadas, los archivos .hdf y .xml (Figura 14).

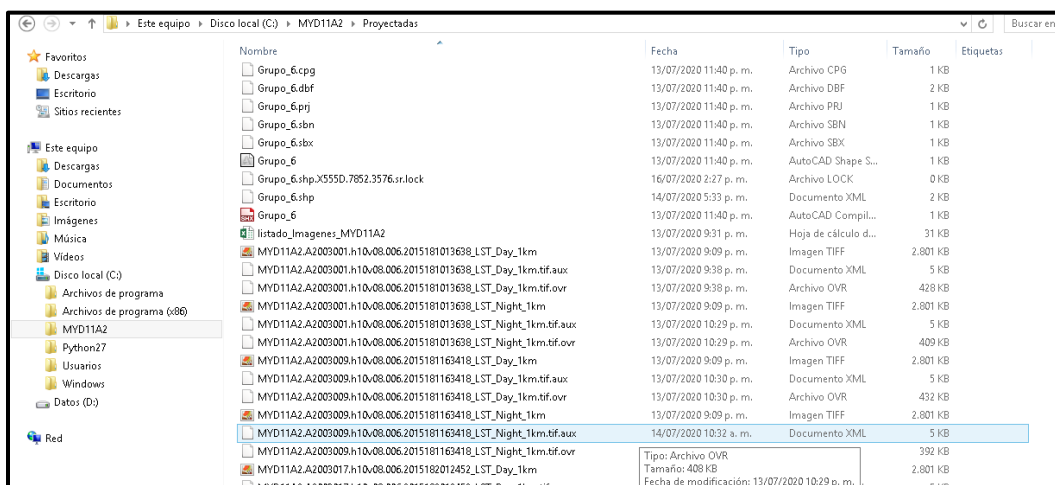


Figura 13. . Imágenes obtenidas con el Script ExtraccionBandasTS

- ***ExtraerDatosTS R.py***, (Echeverri, 2019) Se configuraron los siguientes datos resaltados: fecha de inicio y finalización, código del campo en la tabla de atributos del shapefile de puntos, dirección de salida de los datos Excel (Figura 15).

```

8 import math
9 import glob
10 os.environ['GDAL_DATA'] = 'C:\OSGeo4W64\share\gdal'
11 # Se crea el dataframe de pandas donde se guardaran los resultados
12 start = '2003-01-01' # Fecha de inicio de la serie de imagenes para extraer los datos
13 end = '2003-01-31' # Fecha de inicio de la serie de imagenes para extraer los datos
14 campo = 'CoberPix' # Este campo corresponde al campo del Shape que se va a utilizar como referencia para extraer los datos
15 Producto = 'MYD11A2' # Producto utilizado de MODIS
16 salidaExcel = 'F:\MYD11A2\PROYECTADAS\DatosTS' #Esta direccion es donde se van a guardar los datos en un archivo excel.
17 filtro = 20 #Esta funcion elimina las series que contengan menos del numero de datos asignados
18 # Se abre el dataframe que contiene el listado del nombres de los archivos reproyectados a los que se les extraera el valor de
19 xls_reprojected = pd.ExcelFile('F:\MYD11A2\PROYECTADAS\listado_Imágenes_MYD11A2.xlsx')
20 rango_fechas = pd.date_range(start=start, end=end, freq='W', name='Fecha')
21 #df_results = pd.DataFrame(index=rango_fechas)
22 df_reprojected = xls_reprojected.parse('Nombres', index_col='Fecha')
23 dates_reprojected = df_reprojected.index
24
25
26 for x in glob.glob('*.*shp'):

```

Figura 14. Configuración del Script ExtraerDatosTS_R.py

Fuente. Echeverri, 2019.

La información obtenida de este script se guardó en la carpeta “DatosTS”, en la siguiente ruta C:\MYD11A2\Proyectadas\DatosTS(Figura 16).

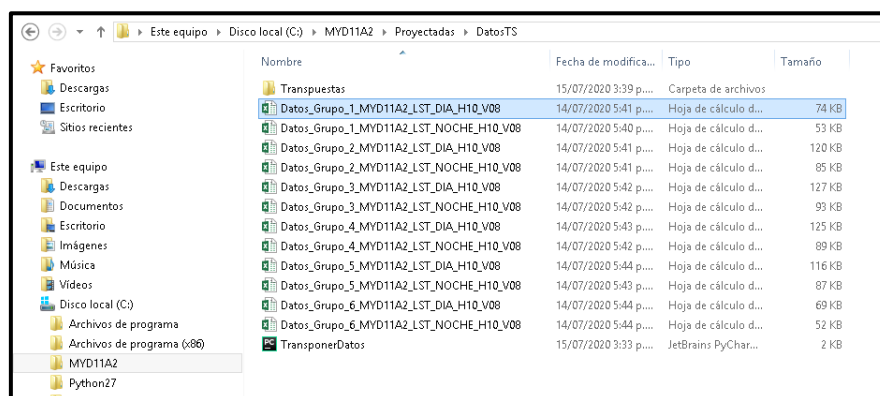


Figura 15. Archivos Excel obtenidos con el Script ExtraerDatosTS_R.py

- **TransponerDatos.py**, (Echeverri, 2019) Este código convirtió la matriz de datos en una columna de datos (Figura 17).

```

1  #Este código realiza la trasposición de los datos entregando un archivo que contiene todos los datos
2  #en una sola columna
3  import pandas as pd
4  import numpy as np
5  import os
6  from pandas import DataFrame
7  import openpyxl
8  import xlrd
9  import math
10 import glob
11 os.chdir('F:\MYD11A2\PROYECTADAS\DatosTS')
12 ruta_salida = ('F:\MYD11A2\PROYECTADAS\DatosTS\Transpuestas')
13 df_results1 = pd.DataFrame()
14 for f in glob.glob("*DIA_H10_V08.xls*"):
15     nombre = f

```

Figura 16. Configuración del Script TransponerDatos.py

Fuente. Echeverri, 2019.

La información obtenida se almacenó en una carpeta llamada “Transpuestas”, en la siguiente ruta C:\MYD11A2\Proyectadas\DatosTS\Transpuestas (Figura 18).

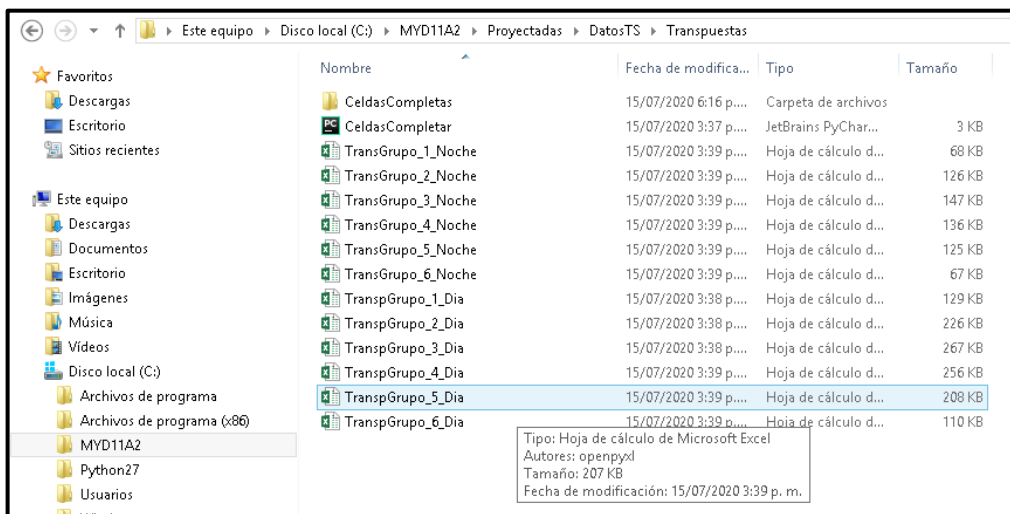


Figura 17. Archivos Excel obtenidos con el Script TransponerDatos.py

- ***CeldasCompletar.py***, (Echeverri, 2019) Este script completa los datos faltantes de las hojas de Excel del código anterior (Figura 19).

```

1 import pandas as pd
2 import numpy as np
3 from pandas import DataFrame
4 import openpyxl
5 import glob
6 import os
7 import xlrd
8 os.chdir('E:\WYD11A2\PROYECTADAS\DatosTS\Transpuestas') # En esta ruta se encuentran los archivos en columna de la carpeta Transpuesta
9 ruta_salida=('E:\WYD11A2\PROYECTADAS\DatosTS\Transpuestas\CeldasCompletas') # En esta ruta se guardaran los archivos en columna de la
10
11 for archivo in glob.glob('*_Noche.xlsx'):
12     #archivo = ('TransGrupo3_Noche.xlsx')
13     k = archivo[5:12]
14     print(k)
15     wb = openpyxl.load_workbook(archivo)
16     type(wb)
17     wb.get_sheet_names()
18     #sheet = wb[wb.sheetnames[0]]
19     sheet = wb.get_sheet_by_name('Sheet1')
20     type(sheet)
21     fila = sheet.max_row + 1
22     print(fila)
23     for i in range(2, fila+1):
24         eti = sheet['A'+str(i)].value
25         if sheet.cell(row=i, column=1).value is None:

```

Figura 18. Configuración del Script CeldasCompletar.py

Fuente. Echeverri, 2019.

La información obtenida se almacenó en una carpeta llamada “CeldasCompletas”, como se observa en la siguiente figura, en la que se encuentra la siguiente ruta C:\MYD11A2\Proyectadas\DatosTS\Transpuestas\CeldasCompletas (Figura 20).

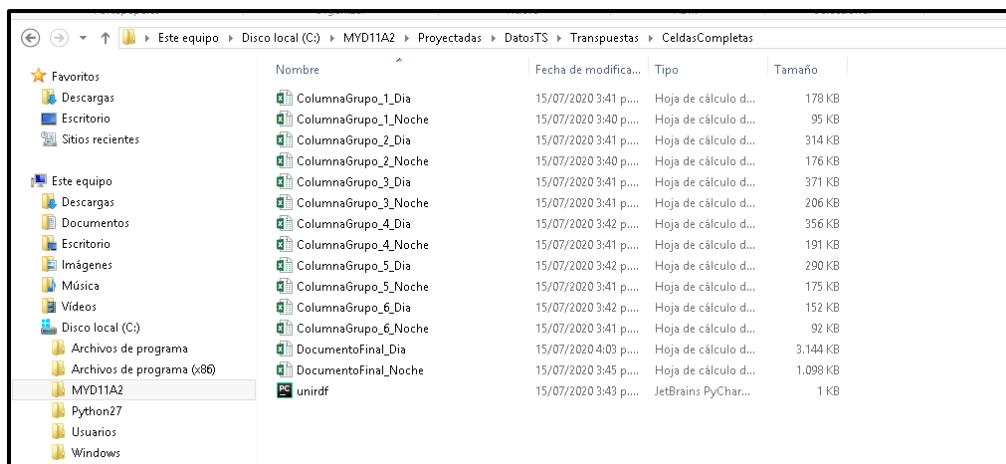


Figura 19. Archivos Excel obtenidos con el Script CeldasCompletar.py

Unirdf.py, (Echeverri, 2019) Este código sirve para unir la información de los grupos “día y noche”; la salida de este código se llamó DocumentoFinal_Dia.xlsx y DocumentoFinal_Noche.xlsx (Figura 21).

```

DescargaModis.py  ExtraccionBandasTS.py  ExtraerDatosTS_R.py  TransponerDatos.py  CeldasCompletar.py  unirdf.py
3     from pandas import DataFrame
4     import openpyxl
5     import glob
6     import os
7     import xlrd
8     appended_data = []
9     for infile in glob.glob("*.Dia.xlsx"):
10        data = pd.read_excel(infile)
11        # store DataFrame in list
12        appended_data.append(data)
13        # see pd.concat documentation for more info
14        appended_data = pd.concat(appended_data)
15        # write DataFrame to an excel sheet
16        appended_data.to_excel('DocumentoFinal_Dia.xlsx')
17
18        appended_data2 = []
19        for infile in glob.glob("*.Noche.xlsx"):
20            data = pd.read_excel(infile)
21            # store DataFrame in list
22            appended_data2.append(data)
23            # see pd.concat documentation for more info
24            appended_data2 = pd.concat(appended_data2)
25            # write DataFrame to an excel sheet
26            appended_data2.to_excel('DocumentoFinal_Noche.xlsx')
27

```

Figura 20. Configuración del Script Unirdf.py

Fuente. Echeverri, 2019.

4.4 Análisis de datos

Los resultados se obtuvieron a partir de dos tipos de análisis, realizados por medio del software estadístico Infostat, para ello se utilizaron las pruebas “medidas de resumen” y la no paramétrica Kruskal Wallis, así:

- a) Se hizo un análisis estadístico de las medidas de resumen, utilizando como variable de clasificación el “Estado”, B (Bosque) y T (Transformado), para las lecturas Día y Noche, así: en primera medida para el global de los grupos, posteriormente se hicieron particiones para analizar por separado el comportamiento de la TS para cada grupo, por meses y finalmente por años.
- b) Se realizó un análisis de varianza “ANOVA” no paramétrica por el método de Kruskal Wallis, utilizando como variable de clasificación el “Estado”, B (Bosque) y T (Transformado), para las lecturas Día y Noche, así: en primera medida para el global de los grupos, posteriormente se hicieron particiones para analizar por separado el comportamiento de la TS para cada grupo, por meses y finalmente por años.

Según (Vlassova, 2016) ,el análisis de varianza (ANOVA) se aplica para verificar si hay diferencias estadísticamente significativas entre los conjuntos de datos analizados y la desviación estándar es normalmente usada para medir la dispersión de los datos; esta es la diferencia promedio entre cada valor en el conjunto de datos y la media.

La temperatura de la superficie terrestre (T_s) es una variable de estado que juega un papel crucial en muchos procesos de superficies terrestres, está relacionada con el transporte de calor entre la superficie terrestre y la capa límite atmosférica (Vlassova, 2014). Por lo que se hace necesario comprender, como los cambios en las coberturas de bosque hacia pastizales o áreas con cultivos, ocasiona cambios en la temperatura de estas zonas del Municipio de Puerto López.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registró un total de 103.389 de datos entre los años 2003 a 2019 del sensor MODIS, 65.760 corresponden a datos día y 36629 datos noche (Tabla 1), la diferencia en la cantidad de datos se podría atribuir a que Terra orbita en la mañana y Aqua en la tarde y por ende podrían cambiar las condiciones atmosféricas (Echeverri, 2019) y la distancia entre el cenit y el nadir que determina la resolución espacial y permite discriminar los menores objetos en el área de estudio (Posada & Ceron, 2019).

Tabla 1. Datos Ts día y noche(2003-2019) según coberturas

COBERTURA	DATOS Ts DIA	DATOS Ts NOCHE	TOTAL
Bosque o áreas seminaturales	34442	18995	53437
Territorios agrícolas	31318	17634	48952
Total	65760	36629	102389

5.1 Análisis en las temperaturas de superficie día y noche en las coberturas Bosques o áreas seminaturales(B) y territorios agrícolas(T).

Dentro de las Ts registradas en el día, entre B y T se puede evidenciar diferencia de temperaturas en máximas, medias y mínimas; en las Ts máximas la diferencia corresponde a 1.70 °C, en las medias son diferenciales en 1.69 y en las mínimas la diferencia es de 0.38 °C siendo mayor la de B que la de T (Figura 22) ; De lo anterior se deduce que las temperaturas máximas son mayores en Territorios agrícolas (Duveiller et al., 2018); las temperaturas mínimas son mayores en Bosques y áreas seminaturales frente a los Territorios agrícolas lo cual se puede atribuir a la

rapidez con la que T pueden perder la Ts . Aplicando Kruskal Wallis se muestra que las diferencias son significativas entre T y B.

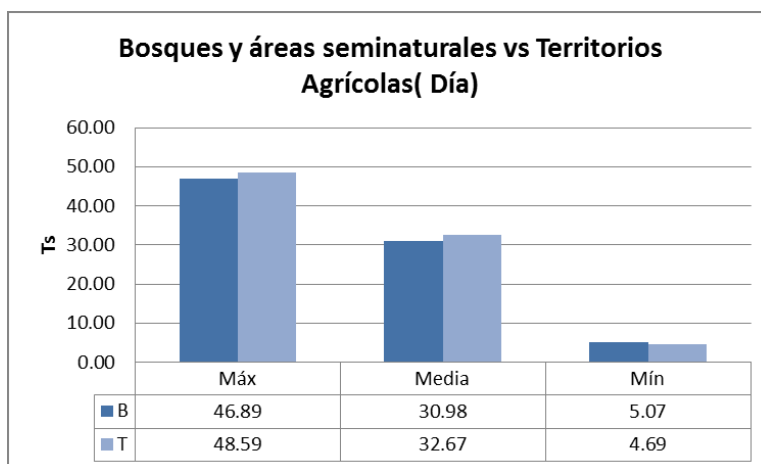


Figura 21. Ts día Bosques y áreas seminaturales vs Territorios agrícolas

Dentro de las Ts registradas en la noche (Figura 23) se puede evidenciar que las temperaturas son similares entre B y T , existiendo en las máximas solo una diferencia de 0.78 °C, en las mínimas no se presentan diferencias y se registran -8.53 °C y las medias solo se diferencia en 0.03. El análisis de Kruskal Wallis no muestra diferencias significativas entre B y T.

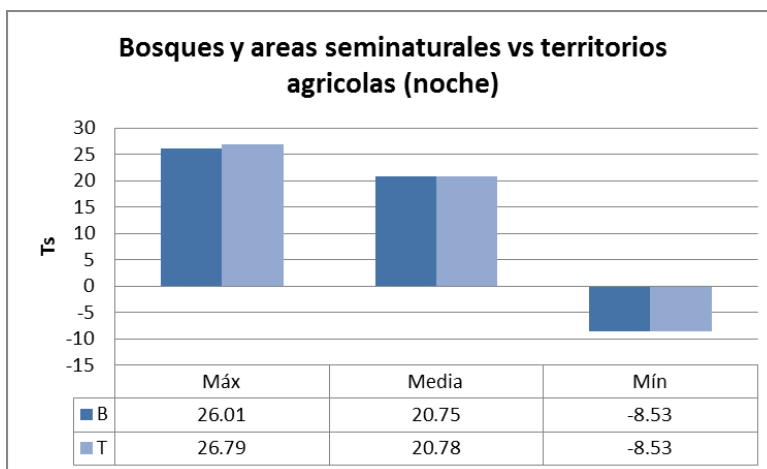


Figura 22. Ts noche Bosques y áreas seminaturales vs Territorios agrícolas

La temperatura de la superficie de la tierra (LST) es una de las entradas clave para los modelos de transferencia de suelo, vegetación y atmósfera en los ecosistemas terrestres. Esto puede explicar cómo las zonas transformadas muestran una temperatura de superficie en el día con valores máximos superiores (48,59°C), a los de zonas con bosque (46,89°C); debido a que la relación suelo-vegetación-atmósfera en zonas con cultivos y pastizales permiten alcanzar temperaturas superiores. Mientras que por otra parte, los árboles pueden subir los niveles de humedad al enfriar el aire a su alrededor, por efecto de la evapotranspiración, disminuyendo así el incremento en la temperatura máxima de superficie. Se observó que la Ts para la noche presenta un comportamiento similar con mayor temperatura en territorio agrícola (T) o zona de cultivos y pastizales (Vlassova, 2014).

La prueba no paramétrica, muestra que hay una tendencia a presentar diferencia entre la Ts Día para Bosque (B) y territorio agrícola (T) (Tabla 2). Esto evidencia que a pesar de presentar una variación menor en la media de los datos de Ts para el comparativo de B y T, la Ts si muestra un comportamiento diferencial, ya que la zona con Bosque presenta menor incremento en la Ts máxima.

Tabla 2. Prueba Kruskal Wallis Ts día

Variable	Estado	N	Medias	D.E.	H	p
TS	B	34442	30.98	4.50	29189296.64	0.0001
TS	T	31318	32.67	5.31		
Trat.	Ranks					
B	29000.9751	A				
T	37147.0112	B				

La prueba no paramétrica para la Ts Noche, no muestra diferencia significativa entre Bosque y Transformada (Tabla 3).

Tabla 3. Prueba Kruskal Wallis Ts noche

Variable	Estado	N	Medias	D.E.	H	p
TS	B	18995	20.75	1.75	1.97	0.0110
TS	T	17634	20.78	1.68		

Trat.	Ranks	Columna3
B	18240.2636	A
T	18395.5045	A

5.2 Análisis en las temperaturas de superficie día y noche en las coberturas Bosques o áreas seminaturales (B) y territorios agrícolas (T) por grupos.

Entre los seis (6) grupos que se determinaron para realizar el estudio, se encontraron comportamientos similares en el día en los valores máximos y medios, siendo mayor las temperaturas en territorios agrícolas superando en promedio 1.4 °C; en las temperaturas mínimas las diferencias entre T y B son variables siendo más probable que los Bosques y áreas seminaturales presenten temperaturas mínimas mayores que territorios agrícola, se evidencia una notoria diferencia del grupo 3 respecto a las temperaturas mínimas existiendo una diferencia de 6.8 °C siendo mayor la de T.(Figura 24) . En el análisis de Kruskal Wallis se determinó que existen diferencias significativas entre todos los grupo, así como entre los T y los B de cada grupo.

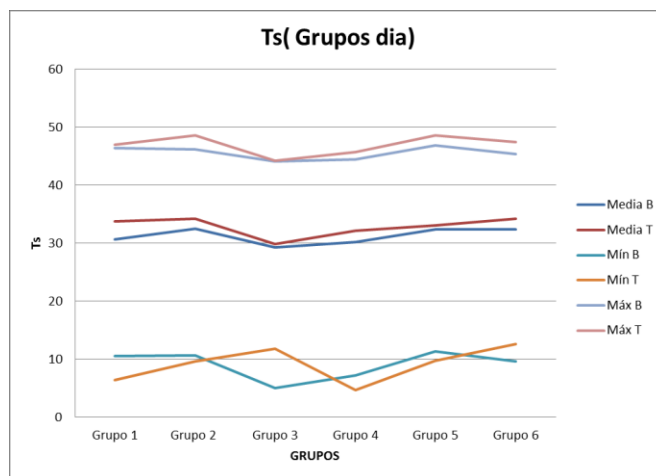


Figura 234. Ts dia por grupos

Con respecto a los datos de la noche, se registra que las temperaturas entre grupos son casi similares entre medias y máximas y en las mínimas se determinan diferencias muy variables en las que en ocasiones los bosques tienen diferencias por encima sobre los territorios agrícolas en más de 9 °C (Grupo 2) y en otras los territorios agrícolas superan a los Bosques 8.63 °C (Grupo 5) (Figura 25). No existen diferencias marcadas al realizar el análisis de varianza entre T y B para la noche.

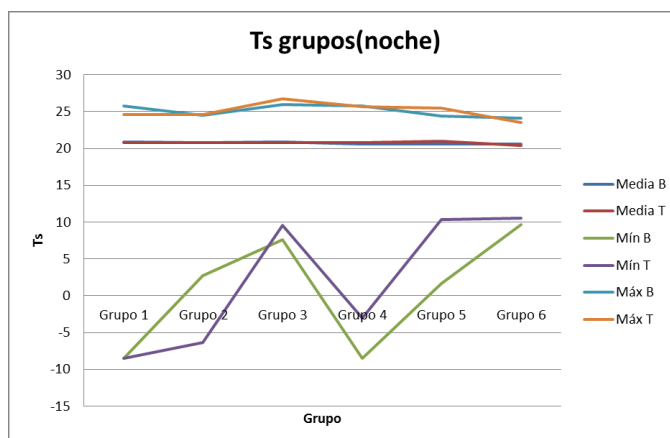


Figura 245. Ts noche por grupos

Aplicando la prueba entre grupos se muestra que los grupos 2 y 5 comparten datos, así como 1 y 3; los grupos 6 y 4 difieren de todos (Tabla 4); por lo que se revisan las coberturas contempladas para determinar a que obedecen los cambios y se evidencia que los grupos 1 y 3 tienen coberturas de terrenos agrícolas con bosques de galería, los grupos 2 y 5 son de plantaciones y terrenos agrícolas, el grupo 4 es de territorio agrícola con bosque de galería, pero a diferencia del 1 y 3, este tiene influencia de transición en los píxeles debido a que el bosque de galería esta limitando con el territorio agrícola (Carvajal, 2017), así mismo el grupo 6 presenta plantación y territorios agrícolas, pero con un efecto de transición o efecto de borde entre las coberturas por los píxeles de 1 Km que maneja el sensor, concluyendo que la Ts es diferente en zonas de transición y por tanto se presenta diferenciales marcadas entre los grupos (Cabello, 2013).

Tabla 4. Prueba Kruskal Wallis para grupos noche

Variable	Grupo	N	Medias	D.E.	H	P
TS	1	3609	20,84	1,99	248,97	>0,0001
TS	2	6933	20,81	1,45		
TS	3	8145	20,87	1,84		
TS	4	7508	20,67	1,95		
TS	5	6903	20,79	1,52		
TS	6	3531	20,53	1,44		

Trat	Ranks				
6	16238,34	A			
4	17756,29		B		
2	18289,18			C	
5	18461,60			C	
1	18953,98				D
3	19344,89				D

5.3 Análisis en las temperaturas de superficie día y noche en las coberturas Bosques o áreas seminaturales(B) y territorios agrícolas(T) por meses.

Dentro de las T_s registradas en el día por meses, se puede evidenciar que las temperaturas superficiales son mayores en territorios agrícolas (T) respecto a las de Bosques y áreas naturales en temperaturas medias y máximas; en temperaturas medias tienen diferencias muy parejas de aproximadamente $1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ siendo mayores las de T; en las máximas en los meses de junio y agosto solo se supera la temperatura de B en aproximadamente $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ frente a las T. Para el caso de las T_s en las mínimas se presenta variaciones en 50% de los meses en donde la T_s es mayor para T y en otro 50% la T_s es mayor para B. Una vez revisado el régimen de precipitación de los llanos orientales el cual es monomodal con mayores precipitaciones entre abril a noviembre (Guzman et al., 2014), se evidencia la coincidencia de la variación de la T_s , correspondiente mayor T_s en meses secos y menor T_s en meses lluviosos. Se presentan para estas diferencias significantes entre todos los meses al realizar el análisis de varianza.(Figura 26).

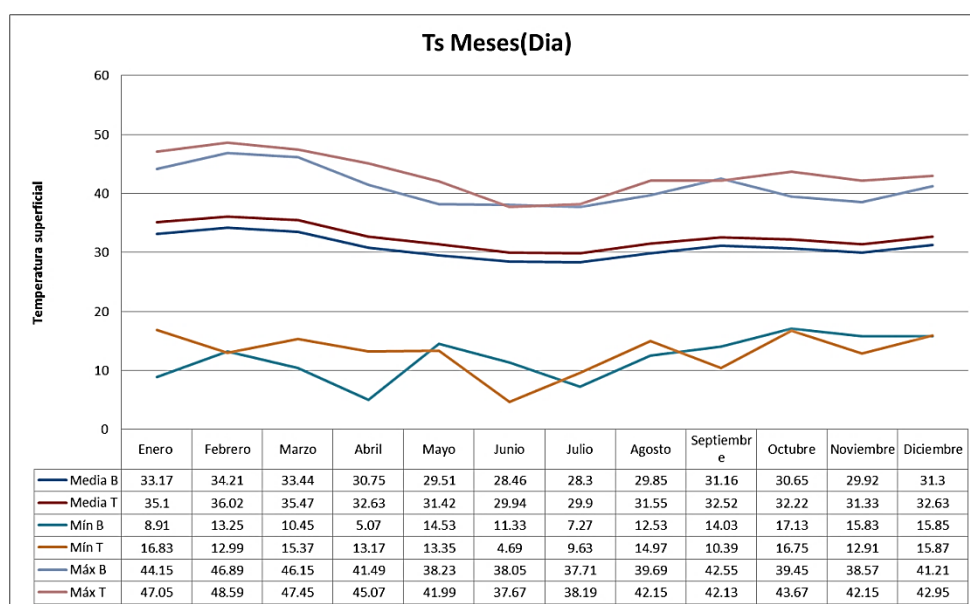


Figura 25. Ts día por meses

Dentro de las T_s registradas en la noche por meses, se evidencia que las T_s son similares en B y T en máximas temperaturas siendo los meses marzo, mayo a septiembre y diciembre mayores las T_s de B y en los meses de enero, febrero abril, noviembre y diciembre mayores las T_s de T; en las medias presentan un comportamiento similar en todos los meses, en temperaturas medias se obtienen diferencias muy parejas de T_s de aproximadamente $1.6\text{ }^\circ\text{C}$ (Echeverri, 2019), siendo mayores las T_s de T. Para el caso de las T_s en las mínimas se presenta variaciones en 50% de los meses en donde la T_s es mayor para T y en otro 50% la T_s es mayor para B, con una marcada baja de T_s en el mes de junio. Aplicando el análisis de varianza para siete meses correspondiente a los meses enero, mayo a agosto y noviembre y diciembre no se presentan diferencias significativas. (Figura 27).

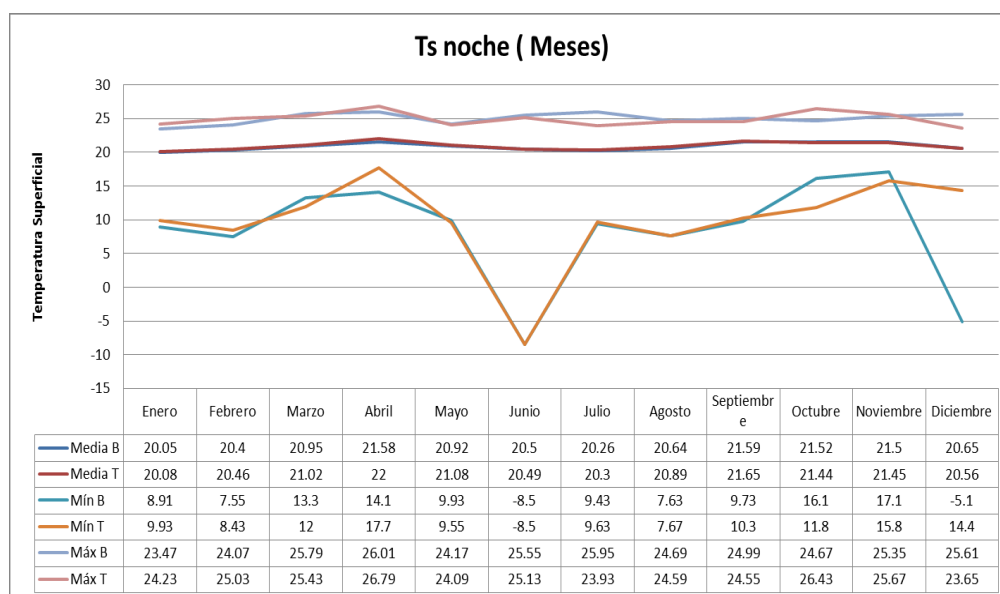


Figura 27. T_s noche por meses

La precipitación en los Llanos orientales es de carácter monomodal, con una época de lluvias de abril a noviembre y una época seca de diciembre a abril (Guzman et al., 2014). Los resultados muestran que la T_s media del día, fluctúa según el incremento o disminución de las lluvias en la zona, alcanzando un valor medio máximo de $34,21^\circ\text{C}$ en Bosque y $36,02^\circ\text{C}$ en Transformada,

ambas en el mes de febrero (época seca) y disminuyendo a medida que se presentan lluvias en los meses de mayo a octubre. De igual manera la T_s máxima presenta su más alto valor en el mes de febrero para ambos tipos de cobertura vegetal.

La temperatura mínima presentó un comportamiento atípico, debido a que en cinco (5) de los doce (12) meses del año, es menor en Bosque que en el Territorio agrícola, situación que puede suceder debido a que es preciso tener en cuenta las características morfológicas de la planta: su altura, perfil, grado de cobertura del suelo, etc., que provocan una notable modificación de su comportamiento reflectivo.(Chuvienco, 1990).

En el año, durante unos pocos días, generalmente en el mes de junio a agosto, penetran masas de aire frío provenientes de la Antártida, las cuales reducen la temperatura diurna, hasta 15 a 18°C, fenómeno que en la región se denomina “frijajes” (Hernandez & Camacho, 1994), fenómeno que puede explicar las T_s mínimas día presentes en el mes de Junio en ambas coberturas.

Los resultados obtenidos de la T_s media en la noche, son similares entre Bosque y Territorio agrícola, sin presentar diferencias significativas entre la época lluviosa y la de menor precipitación. En la T_s máxima noche, los datos obtenidos muestran valores muy cercanos durante la época de lluvias para los dos tipos de cobertura, y en los meses de diciembre a febrero, donde hay menor precipitación, se presentan diferencias que no superan los 1,96°C, lo cual puede estar relacionado con la humedad del suelo (Langer et al., 2010).

En el análisis estadístico no paramétrico, la T_s por meses día, tiene tendencia a presentar diferencias significativas entre cada mes. Y utilizando particiones, el ejercicio da como resultado para cada mes, diferencias significativas entre las coberturas de Bosque y Zona Transformada (Tabla 5).

5.4 Análisis en las temperaturas de superficie día y noche en las coberturas Bosques o áreas seminaturales(B) y territorios agrícolas(T) por años.

Dentro de las Ts registradas en el día por años, se evidencia que las Ts máximas son mayores en territorios agrícolas (T) respecto a las de Bosques y áreas naturales y en caso en que las Ts en B son mayores (2005, 2009-2012) son máximo de 1 °C; Se encuentra que desde los años 2007 a 2013 las Ts son similares en las máximas, pero a partir del año 2013 las diferencias se van marcando por encima de 2°C las Ts de T frente a B. En las medias, se puede evidenciar que en todos los años la Ts de T es mayor que la B, en promedio para todos los años se aproxima en 1.79 °C. Las Ts mínimas en su mayoría son más altas en B que en T. En el análisis de varianza dan diferencias significativas en todos los años entre B y T. (Figura 28).

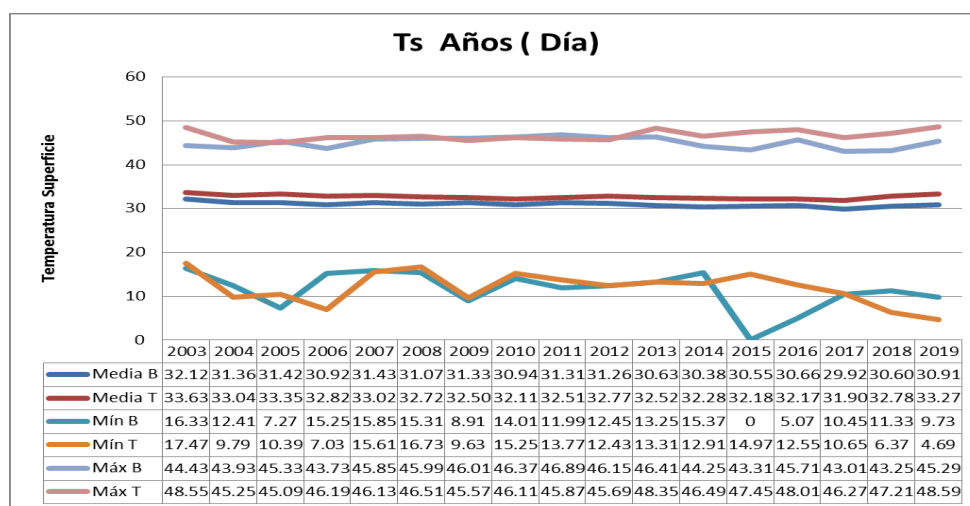


Figura 28. Ts día por años

Dentro de las Ts registradas en la noche por años, se evidencia que las Ts son similares en B y T en máximas, siendo los años 2006 a 2009, de 2011 a 2015 y 2019 mayores las Ts de B frente a T. En las medias, se evidencia el mismo comportamiento de Ts entre B y T con diferencias promedio de Ts de 0.04 °C. En las mínimas se presentan similitudes a excepción de los años 2003 y 2004 en donde la Ts de T supera en 19.28 °C a B en 2003 y 5.04 °C en 2004; así mismo

se evidencia en el año 2015 una baja de temperatura para B y T a $-8.53\text{ }^{\circ}\text{C}$, por lo que aparentemente al realizar el análisis de varianza marca diferencias significativas en los años 2003 y 2015.(Figura 29).

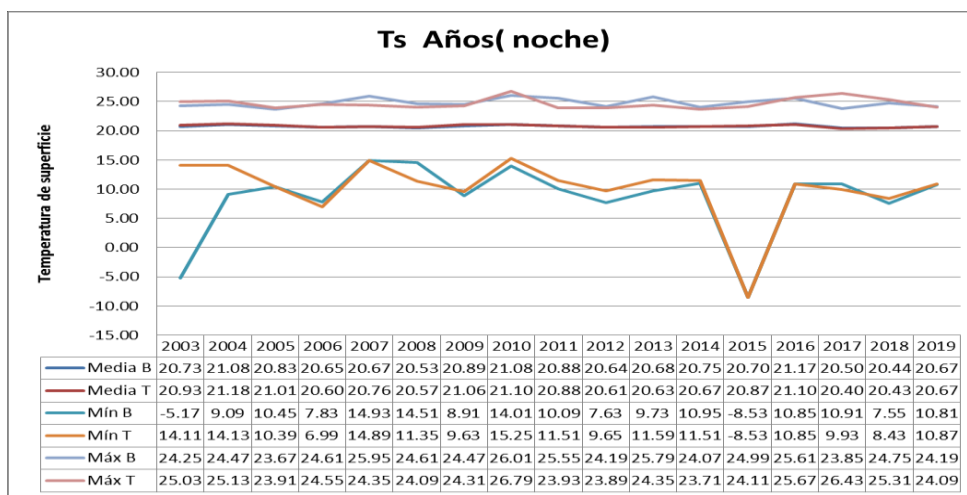


Figura 29. Ts noche por años

De la totalidad de los datos se evidencia que en el día las temperaturas de las superficies que poseen terrenos agrícolas poseen las máximas y medias Ts mayores que los bosques y las áreas seminaturales, condiciones que se pueden considerar a que el albedo de los bosques es menor que los cultivos y prados (Sanchez & Pineda, 2001) y por ende liberan más calor por lo que puede ser considerado que se refleje el mismo comportamiento de mayores Ts. Ahora, frente a las temperaturas mínimas se presentan unas notorias bajas de los bosques en los años 2015 y 2016 y de acuerdo al análisis de varianza presentan un comportamiento similar, que puede suponerse por los fenómenos del niño fuerte dados en los años mencionados (IDIGER, 2019) y podrían corresponder a la capacidad que tiene el bosque de autoregular su temperatura y como un mecanismo de sobrevivencia frente a las altas temperatura del ambiente y a la sequía, generando una mayor capacidad de absorción de energía para lograr el balance con el medio.

Así mismo se denota una similitud de datos entre los años 2008 y 2011 en donde se presentó un fuerte fenómeno de la niña.(NOAA,2020).

Para las temperaturas de superficie encontradas en las noches, las Ts se asimilan tanto en las máximas, como en las medias y en las mínimas, a excepción del año 2015 que se registro fuerte fenómeno del niño .(NOAA,2020), presentando la Ts una variabilidad muy alta llegando a -8.53°C , lo cual puede atribuirse a la alta absorción de luz absorbida en el día y la pérdida de calor rápida frente a la baja nubosidad (Martelo & Pérez Macias, 2010) . Asi mismo, se revisa la prueba de Kruskal Wallis, la cual nos indica relación entre los años 2015 y 2016, 2008 y 2011 y por último 2004 y 2009, en donde verificados los datos de fenómeno de niño y niña coinciden con los años en que se presentan similitudes, es decir 2015 y 2016 se presentó fuerte fenómeno del niño, en 2004 y 2009 desde julio a diciembre se presentó fenómeno del niño y en los años 2008 y 2011 se presenta fenómeno de la niña. (NOAA,2020).

Tabla 7. Prueba Kruskal Wallis noche por años

Trat.	Ranks	
2017	30004,83	A
2014	30775,72	B
2015	31031,37	C
2016	31089,54	C
2010	31540,12	D
2013	31870,37	E
2018	32151,86	F
2006	32845,51	G
2008	32988,73	H
2011	33018,56	H
2019	33244,09	I
2012	33931,89	J
2007	34414,37	K
2009	34501,84	L
2004	34563,28	L
2005	34734,76	M
2003	36676,55	N

5. CONCLUSIONES

Análisis estadístico de la temperatura de superficie por el método de medidas de resumen:

- ✓ Haciendo una comparación entre coberturas se encontró una marcada diferencia de temperatura entre B y T para la T_s en el día, en donde los territorios agrícolas (T) muestran mayores valores en temperaturas máximas, $1,7^{\circ}\text{C}$ mayor a la temperatura en bosque (B), y el bosque muestra mayores registros en temperaturas mínimas, con $0,38^{\circ}\text{C}$ más que en T. Sin embargo, en la noche la T_s es similar para B y T, mostrando una diferencia de $0,78^{\circ}\text{C}$ en la temperatura máxima de T por encima de B.

- ✓ Al comparar entre grupos en el día, se encuentran comportamientos similares en los valores máximos y medios, con la generalidad de ser superior la T_s en zonas agrícolas (T) con $1,4^{\circ}\text{C}$ más que la temperatura en bosque (B). En la noche las temperaturas media y máxima entre grupos son similares, en las temperaturas mínimas las diferencias entre T y B son variables, encontrando que los bosques tienen una temperatura superior en 9°C en el Grupo 2, sin embargo, en el Grupo 5 las zonas transformadas o territorios agrícolas superan a los bosques en $8,3^{\circ}\text{C}$.

- ✓ En el análisis por meses en el día, la T_s media es $1,6^{\circ}\text{C}$ mayor en territorios agrícolas respecto a los bosques, en máximas la T_s es mayor en territorios agrícolas a excepción de los meses de junio y agosto, en la que el bosque supera a T en $0,4^{\circ}\text{C}$. La temperatura mínima es superior en T para seis meses del año (enero, marzo, abril, julio, agosto, diciembre), en los meses restantes la T_s mínima es superior en bosque. En la noche, el

comportamiento de la Ts máxima por meses arroja valores similares para bosque y territorio agrícola, en la Ts media en T es superior $1,6^{\circ}\text{C}$ a la que presenta B, en las temperaturas mínimas se presentan variaciones en el 50% de los meses en donde es mayor en T y en el otro 50% es mayor en B. Los resultados obtenidos de la Ts media en la noche, son similares entre Bosque y Transformada, sin presentar diferencias significativas entre la época lluviosa y la de menor precipitación. En la Ts máxima noche, los datos obtenidos muestran valores muy cercanos durante la época de lluvias para los dos tipos de cobertura, y en los meses de diciembre a febrero, donde hay menor precipitación, se presentan diferencias que no superan los $1,96^{\circ}\text{C}$.

- ✓ En la revisión del comportamiento de la Ts máxima en el día, comparado entre años se encontró que la Ts es mayor en bosque para los años 2005 y 2009 a 2012 en 1°C , en los años restantes es superior en los territorios agrícolas (T) en 2°C , en la temperatura media, a lo largo de los 16 años la Ts es superior en territorio agrícola en aproximadamente $1,79^{\circ}$. Las temperaturas mínimas en su mayoría son más altas en B. Para la Ts en la noche, comparada entre años, los valores son similares para B y T en temperatura máxima, siendo mayores para bosque en los años 2006 a 2009, 2001 a 2015 y 2019, en la temperatura media se presentan diferencias de $0,08^{\circ}\text{C}$ en promedio, en las temperaturas mínimas se presentan similitudes, a excepción del año 2003 donde la Ts de territorio agrícola (T) supera en $19,28^{\circ}\text{C}$ al bosque, y del año 2004 en el que T supera en $5,04^{\circ}\text{C}$ a B.

Análisis de la temperatura de superficie por método no paramétrico de Kruskal Wallis:

- ✓ En el análisis entre coberturas para el día muestra diferencias significativas con una desviación estándar de 4,50 para bosque y de 5,31 para territorio agrícola. Para los datos en la noche no muestra diferencias significativas, encontrando una dispersión de datos de 1,75 para bosque y de 1,678 para territorio agrícola.

- ✓ Al aplicar la prueba entre grupos en el día, se encuentra que los que tienen el mismo tipo de cobertura, no presentan diferencias significativas entre los conjuntos de datos analizados, mientras que aquellos que tienen efecto de borde entre las coberturas, muestran una diferencia significativa. No se presentan diferencias marcadas al realizar la prueba para T y B n la noche.

- ✓ El análisis de varianza para meses en el día, presenta diferencias significativas, para la noche no se presentan diferencias significativas en los meses de enero, mayo a agosto, noviembre y diciembre. Se presenta una correlación entre la disminución de la Ts y la época de lluvia en los meses de mayo a octubre. En el análisis estadístico no paramétrico, la TS por meses día, muestra tendencia a presentar diferencias significativas entre cada mes. Y utilizando particiones, el ejercicio da como resultado para cada mes, diferencias significativas entre las coberturas de Bosque y Zona Transformada. Los resultados del análisis estadístico para la Ts noche por mes, arroja diferencias no significativas para marzo y mayo, otro grupo con comportamiento similar en Ts es mayo,

junio y agosto, igualmente sucede con octubre y noviembre, y finalmente se presentan similitudes entre abril y septiembre.

- ✓ El análisis no paramétrico para años en el día, presenta diferencias significativas entre B y T. En la noche presenta diferencias significativas en los años 2003 y 2015.
- ✓ Este estudio permite inferir que las coberturas vegetales constituidas por bosques, mantienen una temperatura de superficie menor a la que se presenta en áreas conformadas por cultivos y/o pastos, como lo mencionan Uribe, 2012 y Anderson et al., 2008.
- ✓ Los resultados de este estudio permiten afirmar que se presentan diferencias significativas para la temperatura de superficie en el día, para las dos coberturas, en donde los territorios agrícolas presentan valores máximos en la temperatura máxima y media, mientras que, en la temperatura mínima, es el bosque el que muestra los mayores valores, este comportamiento en general se mantiene al realizar comparaciones entre grupos, meses y años. Los valores similares para la temperatura de superficie en la noche, se ven marcadamente influenciados por la época lluviosa, y, en la época de menor precipitación, las diferencias entre las temperaturas de B y T no son significativas.

6. RECOMENDACIONES

- Al analizar los datos espaciales de los productos MODIS, se encuentra que la resolución espacial para las coberturas emplea un pixel de 250 a 500 metros, mientras que la temperatura de superficie corresponde a un pixel de 1000 metros, en consecuencia se recomienda realizar una normalización estadística de la resolución espacial, para que la información sea analizada en la misma resolución.
- Como el análisis de varianza ANAVA requiere de datos numéricos continuos para proporcionar datos confiables, se recomienda utilizar algún otro producto de MODIS que pueda ser combinado con MOD11A2, para completar las series de tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- Amaral, G., Bushee, J., Cordani, U. G., KAWASHITA, K., Reynolds, J. H., ALMEIDA, F. F. M. D. E., de Almeida, F. F. M., Hasui, Y., de Brito Neves, B. B., Fuck, R. A., Oldenzaal, Z., Guida, A., Tchalenko, J. S., Peacock, D. C. P., Sanderson, D. J., Rotevatn, A., Nixon, C. W., Rotevatn, A., Sanderson, D. J., ... Junho, M. do C. B. (2013). Aplicaciones del sensor MODIS para el monitoreo del territorio. In *Journal of Petrology* (Vol. 369, Issue 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Anderson, M. C., Norman, J. M., Kustas, W. P., Houborg, R., Starks, P. J., & Agam, N. (2008). Remote Sensing of Environment A thermal-based remote sensing technique for routine mapping of land-surface carbon , water and energy fluxes from field to regional scales. *Remote Sensing of Environment*, 112(12), 4227–4241. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.07.009>
- Arredondo., R. et. (2005). *Manual para el manejo y el procesamiento de imagenes satelitales obtenidas del sensor remoto MODIS de la NASA, aplicado en estudios de ingenieria Civil*. (Issue March).
- Bernardi, C. (2020). *Cartografia*, tercer año. <https://sites.google.com/site/censbernardi/home/alumnos>
- Busso, C. A. (2017). El cambio climático global y la producción de alimentos. *Phyton*, 86, 1–2.
- Cabello, F. P. (2013). *INCENDIOS FORESTALES EN ARAGÓN Autor : Adrián Jiménez Ruano*.
- Carvajal, A. F. (2017). *Impactos del cambio en las coberturas de la superficie terrestre , sobre el almacenamiento de carbono y la regulación climática en la cuenca Impactos del cambio en las coberturas de la superficie terrestre , sobre el almacenamiento de carbono y la regulac.*
- Carvajal, A. F., & Pabón, J. D. (2014). *TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE TERRESTRE EN DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA DE LA REGIÓN ANDINA COLOMBIANA Land surface temperature in different land covers of the Andean Region of Colombia*. 26(1), 95–112. <https://doi.org/10.1590/1982-451320140107>
- Castro-díaz, R. (2013). Metodología de validación de productos MODIS para la estimación de temperatura de la superficie en zonas heterogéneas y homogéneas de Colombia. <http://bdigital.unal.edu.co/7563/1/795063.2009.pdf>
- Castro-díaz, R. (2009). Evaluation of MODIS Land products for air temperature estimations in Colombia Evaluación de productos MODIS LST para la estimación. *Agronomía Colombiana* 31(2), 31(2), 223–233.
- Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de teledetección espacial*. Ed. Rialp. Madrid.
- Chuvieco, E., & Palacios-orueta, A. (2008). *Estimación de biomasa aérea en Colombia a partir de imágenes MODIS Aerial biomass estimation in Colombia based on MODIS images*. January.
- Cushman, M. K. and S. A. (2005). *The gradient concept of landscape structure*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Data, G. U. (2018). *El cambio Climático es una realidad que se ve desde el espacio*.
- Díaz Castro, R. I. (2009). *Metodología de validación de productos MODIS para la estimación de temperatura de la superficie en zonas heterogéneas y homogéneas de Colombia Metodología de validación de productos MODIS para la estimación de temperatura de la superficie en zonas heterog.* 42.
- Duveiller, G., Hooker, J., & Cescatti, A. (2018). The mark of vegetation change on Earth's surface energy balance. *Nature Communications*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-017->

02810-8

- Echeverri, R. (2019). Impacto de la deforestación sobre la temperatura superficial en la región amazónica colombiana. Universidad Antonio Nariño.
- El semillero. (2011). *Plan de manejo y establecimiento forestal con la especie Roble Australiano (Acacia mangium wild), para predio La Victoria en Puerto Lopez, Meta.*
- ESA. (2013). *Land Surface Temperature.* <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-3-slstr/overview/geophysical-measurements/land-surface-temperature>
- Guzman, D., Ruiz, J., & Cadena, M. (2014). *Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través de análisis de componentes principales.* IDEAM.
- Hernandez, J., & Camacho. (1994). *Sabanas naturales de Colombia.* Banco credencial de Occidente.
- IDEAM. (2014a). *Coberturas de la Tierra.* [http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra#:~:text=La %22Cobertura%22 de la tierra,otras superficies terrestres como afloramientos](http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra#:~:text=La%22Cobertura%22de%20la%20tierra,otras%20superficies%20terrestres%20como%20afloramientos)
- IDEAM. (2014b). *Metodología Corine Land Cover.* <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>
- IDIGER. (2019). *Fenómeno ENOS (oscilación del sur) Niño y Niña.* [https://www.idiger.gov.co/web/guest/precipitacion-y-temperatura.](https://www.idiger.gov.co/web/guest/precipitacion-y-temperatura)
- Internacional, A. de T. A. (2013). *Percepción Remota, su historia y sus aplicaciones.* [https://aerolatinnews.com/industria-aeronautica/percepcion-remota-su-historia-y-sus-aplicaciones/#:~:text=La Percepción Remota o Teledetección,objetos o el proceso observado](https://aerolatinnews.com/industria-aeronautica/percepcion-remota-su-historia-y-sus-aplicaciones/#:~:text=La%20Percepción%20Remota%20o%20Teledetección,objetos%20o%20el%20proceso%20observado)
- Jamei, Y., Rajagopalan, P., & Chayn, Q. (2019). Science of the Total Environment Spatial structure of surface urban heat island and its relationship with vegetation and built-up areas in Melbourne , Australia. *Science of the Total Environment*, 659, 1335–1351. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.308>
- Langer, M., Westermann, S., & Boike, J. (2010). Spatial and temporal variations of summer surface temperatures of wet polygonal tundra in Siberia - implications for MODIS LST based permafrost monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 114(9), 2059–2069. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.04.012>
- Martelo, M. T., & Pérez Macías, M. (2010). Estudio del impacto del cambio climático sobre la agricultura y la seguridad alimentaria en la República Bolivariana de Venezuela. *Impacto Del Cambio Climatico*, 1, 111.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra* Ministerio del Medio Ambiente. (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra.* http://siatac.co/c/document_library/get_file?uuid=a64629ad-2dbe-4e1e-a561-fc16b8037522&groupId=762
- Nacional, P., & Copernicus, P. (2019). *Teledetección.* 1–6.
- NASA Official. (2010). *Terra About.* <https://terra.nasa.gov/about>
- NOAA, (2020). *Cold and warm episodes by season.* https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
- Palchaudhuri, M., & Biswas, S. (2019). Application of LISS III and MODIS-derived vegetation indices for assessment of micro-level agricultural drought. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2019.12.004>
- Prata, A. J. (1993). *Land surface temperatures derived from the advanced very high resolution radiometer and the Along-Track Scanning Radiometer.* *Journal of Geophysical Research.*

- Posada, A., & Ceron, M. (2019). *Influencia del ángulo de iluminación solar y la altura de la toma de la imagen multiespectral sobre la estimación de biomasa de pasto kikuyo*. Revista U.D.C.A Actualidad y divulgación Científica. https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/1338/1800#content/citation_reference_17
- Sanchez, J., & Pineda, R. (2001). *Albedo a partir de la NOAA-AVHRR para el modulo Terrain del modelo meteorologico de la mesoescala -MM5-*. Universidad Politecnica de Catalunya.
- Smith, J.A.; Chauhan, N.S.; Schmugge, T.J.; Ballard, J. R. (1997). *Remote sensing of landsurface temperature: the directional viewing effect*. Geoscience and Remote Sensing, IEEE.
- SNIA. (2016). *Temperatura de la tierra*. S.F. <http://dlibrary.snia.gub.uy/maproom/Clima/LST/index.html#tabs-2>
- Uribe, S. T. (2012). *ESTIMACIÓN DE TEMPERATURA SUPERFICIAL EN EL VALLE DE ABURRÁ MEDIANTE TÉCNICAS DE PERCEPCIÓN REMOTA*. 1–72.
- Vlassova, L. (2014). *Assessment of methods for land Surface Temperature Retrieval from Landsat-5 Images Applicable to Multiscale Tree-Grass Ecosystem Modeling*. Universidad de Zaragoza.
- Vlassova, L. (2016). *Land Surface Temperature (LST) estimated from landsat images: applications in burnt areas and tree-grass woodlands (Dehesas)*. Universidad de Zaragoza.
- Xu, X., Zhou, G., Du, H., Mao, F., Xu, L., Li, X., & Liu, L. (2020). Combined MODIS land surface temperature and greenness data for modeling vegetation phenology, physiology, and gross primary production in terrestrial ecosystems. *Science of the Total Environment*, 726, 137948. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137948>
- Zarco, P. J., Ariza, F., & López, R. (1996). Métodos de obtención de la radiación solar mediante teledetección: órbita polar vs órbita geoestacionaria. *Espacio y Desarrollo*, No. 8, 33–73.