

**EFFECTO DE LA DEFORESTACIÓN SOBRE LA TEMPERATURA DE SUPERFICIE
EN EL PARQUE NACIONAL NATURAL (PNN) SIERRA DE LA MACARENA
DURANTE EL PERIODO 2003 - 2019**

FABIAN ANDRES DÍAZ
FABIOLA CAROLINA POSADA TÉLLEZ

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
BOGOTÁ D.C.
JULIO DE 2020**

**EFECTO DE LA DEFORESTACIÓN SOBRE LA TEMPERATURA DE SUPERFICIE
EN EL PARQUE NACIONAL NATURAL (PNN) SIERRA DE LA MACARENA
DURANTE EL PERIODO 2003 - 2019**

ii

**FABIAN ANDRES DÍAZ
FABIOLA CAROLINA POSADA TÉLLEZ
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL
TÍTULO DE ESPECIALISTAS EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**Directores
Andrés Felipe Carvajal, Dr.
Raúl Echeverri, MSc.**

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
BOGOTÁ D.C.
JULIO DE 2020**

El estudio consistió en evaluar el efecto de la deforestación sobre la temperatura de superficie (Ts) en el Parque Nacional Natural (PNN) Sierra de La Macarena durante el periodo 2003 - 2019. Para ello se utilizaron 1570 imágenes del producto MYD11A2 del sensor MODIS, y se extrajeron las bandas de temperatura de superficie (Ts) de las capas 1 y 5 que corresponden al día y la noche, con una resolución espacial de 1Km y una resolución temporal de 8 días. Posteriormente, se tomó una muestra de 6 grupos de centroides de pixel en línea recta, ubicados sobre zonas estratégicas de cobertura conservada y deforestada, con el fin de capturar los valores de temperatura de superficie, y con ellos, realizar un procesamiento estadístico de su comportamiento con el software InfoStat. A partir del análisis de la información se identificó que enero, febrero y marzo son los meses que presentan valores mayores de temperatura, mientras que junio y julio presentan los valores menores, relacionándose directamente con el régimen de precipitación de la zona. Adicionalmente, se evidenció que la temperatura de superficie (Ts) de la cobertura transformada es más alta que en la cobertura conservada, siendo en el día de 2.46 °C y en la noche de 0.74 °C, esto se debe a que las coberturas deforestadas retienen mayores índices de calor en el suelo, provocando un aumento en la temperatura de superficie.

Palabras clave: Temperatura de superficie (Ts), deforestación, PNN Sierra de La Macarena, sensor MODIS.

Abstract

The study consisted of evaluating the effect of deforestation on the surface temperature (LTS) in the Sierra de La Macarena National Natural Park (PNN) during the period 2003 - 2019. For this, 1570 images of the MYD11A2 product of MODIS sensor were used, and surface temperature (LST) bands were extracted from layers 1 and 5 that correspond to day and night with a spatial resolution of 1Km and a temporal resolution of 8 days. Subsequently, a sample of 6 groups of pixel centroids located on strategic areas of conserved and deforested coverage was taken, in order to capture surface temperature values and with them, perform statistical processing of their behavior with InfoStat software. From the analysis of the information, it was identified that January, February and March are the months with the highest temperature values, while June and July have the lowest values, directly related to the precipitation regime of the area. Additionally, it was evidenced that the surface temperature (LTS) of the transformed cover is higher than that of the preserved cover, being 2.46 °C on the day and 0.74 °C at night, this is due to the fact that deforested covers retain higher rates of heat in the soil, causing an increase in surface temperature.

Keywords: Land surface temperature (LST), deforestation, PNN Sierra de La Macarena, Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer - MODIS

Tabla de contenido

Introducción	1
Objetivos	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos	4
Marco teórico	5
Temperatura de superficie.....	5
Sensor MODIS	6
Características y especificaciones del sensor	6
Transmisión y procesamiento de los datos	7
Deforestación	8
Deforestación en Colombia	8
Incidencia de la deforestación en la temperatura de superficie	9
Estado del conocimiento	11
Metodología	15
Área de estudio.....	15
Procesamiento digital de las imágenes del sensor MODIS	17
Selección del producto MODIS a descargar	17
Descarga de las imágenes	23
Extracción de bandas	24
Creación de grupos de puntos.....	25
Extracción de datos.....	27
Transposición de datos	28
Compleción de celdas	29
Unificación de la información	31
Procesamiento estadístico	32
Resultados y discusión	38
Análisis de los valores medios de temperatura de superficie por cobertura y jornada	41
Análisis de los valores medios de temperatura de superficie por grupo y jornada	42
Análisis de los valores medios de temperatura de superficie por meses y jornada	43
Análisis de los valores medios de temperatura de superficie por año y jornada	44
Análisis de los valores máximos de temperatura de superficie por cobertura y jornada	45
Análisis de los valores máximos de temperatura de superficie por grupo y jornada	45
Análisis de los valores máximos de temperatura de superficie por mes y jornada	46
Análisis de los valores máximos de temperatura de superficie por año y jornada	47
Análisis de los valores mínimos de temperatura de superficie por cobertura y jornada	48
Análisis de los valores mínimos de temperatura de superficie por grupo y jornada	49
Análisis de los valores mínimos de temperatura de superficie por mes y jornada	50
Análisis de los valores mínimos de temperatura de superficie por año y jornada	51
Análisis intragrupos de los valores medios de temperatura de superficie por coberturas	52
Análisis por meses de los valores medios de temperatura de superficie por coberturas	54

Análisis multianual de los valores medios de temperatura de superficie por coberturas	56	vi
Análisis de varianza intragrupos y coberturas	58	
Análisis de varianza por meses y coberturas	58	
Análisis de varianza intergrupos	60	
Análisis de varianza por meses	61	
Conclusiones	63	
Recomendaciones	65	
Bibliografía	66	

Índice de tablas

vii

Tabla 1.....	9
Tabla 2.....	59

Índice de figuras

viii

Figura 1	15
Figura 2	16
Figura 3	17
Figura 4	18
Figura 5	19
Figura 6	19
Figura 7	20
Figura 8	20
Figura 9	21
Figura 10	21
Figura 11	22
Figura 12	22
Figura 13	23
Figura 14	23
Figura 15	24
Figura 16	24
Figura 17	25
Figura 18	25
Figura 19	26
Figura 20	27
Figura 21	28
Figura 22	28
Figura 23	29
Figura 24	29
Figura 25	30
Figura 26	30
Figura 27	31
Figura 28	31
Figura 29	32
Figura 30	33
Figura 31	33
Figura 32	34
Figura 33	34
Figura 34	35
Figura 35	36
Figura 36	36
Figura 37	37
Figura 38	37
Figura 39	38
Figura 40	39
Figura 41	39
Figura 42	40
Figura 43	41

Figura 44	ix
Figura 44	42
Figura 45	43
Figura 46	44
Figura 47	45
Figura 48	46
Figura 49	46
Figura 50	47
Figura 51	49
Figura 52	49
Figura 53	50
Figura 54	51
Figura 55	52
Figura 56	53
Figura 57	54
Figura 58	55
Figura 59	57
Figura 60	58
Figura 61	59
Figura 62	61
Figura 63	62

Introducción

Mediante la ley 165 de 1994, Colombia ratificó el Convenio de las Naciones Unidas sobre diversidad biológica. A partir de ella se formuló la Política Nacional de Biodiversidad y el país se comprometió a conformar y consolidar un Sistema Nacional de Áreas Protegidas, conocido como SINAP (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2016), del cual forman parte las 59 áreas naturales que pertenecen al Sistema de Parques Nacionales Naturales, cuyo objetivo principal es la conservación y protección de sus elementos, para evitar la alteración de sus ecosistemas (Murad & Pearse, 2018).

El Parque Nacional Natural Sierra de La Macarena es la cuarta área protegida más grande del país (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2018), y se localiza en el departamento del Meta. Fue creado como área protegida mediante el Decreto 1989 de 1989 y está ubicado en una zona que históricamente fue uno de los principales escenarios del conflicto armado, razón por la cual durante décadas el acceso estuvo restringido y bajo el control de la guerrilla de las FARC hasta la firma del Acuerdo de paz el 26 de septiembre de 2016 (Melo, 2016).

Según Parques Nacionales Naturales de Colombia, algunas de las principales presiones que se presentan sobre jurisdicción del parque son la ganadería, la agricultura, la infraestructura, la tala selectiva, el turismo sin regulación y los incendios de cobertura vegetal, siendo la deforestación el proceso más común entre casi todas ellas, que no solo transforma el paisaje, sino la estructura ecológica del parque y de la región (Zárate et al., 2018).

En 2016 la deforestación en el parque representó el 14% del total de las áreas protegidas a nivel nacional (Minambiente & IDEAM, 2017), en 2017 representó el 29% (Minambiente & IDEAM, 2018), en 2018 representó el 12% (Minambiente & IDEAM, 2019) y en 2019 representó el 7% (Minambiente & IDEAM, 2020), evidenciándose así una reducción significativa pero que no deja de ser preocupante dada su condición de parque nacional natural, sobre todo teniendo en cuenta que después de la firma del Acuerdo de Paz, la tasa de deforestación en áreas protegidas fue altamente significativa (Clerici et al., 2020).

Los cambios de cobertura del suelo, que para el caso de estudio se dan a causa de la deforestación, alteran el balance de radiación porque implican una variación en el albedo, y ello está directamente relacionado con la temperatura de superficie (T_s), la cual es un elemento determinante en el proceso de intercambio de materia y energía entre la atmósfera y la superficie terrestre (García Cueto et al., 2012), además permite la medición del estado de humedad del suelo y de las condiciones de la vegetación, lo que termina influyendo en el balance de radiación (Kustas & Anderson, 2009).

El balance de energía se obtiene a partir de la emisión superficial de la radiación de onda larga, la conducción de calor sensible y la entrega de calor latente a la atmósfera por medio del proceso de evapotranspiración, pero la deforestación hace que dicho balance se altere, puesto que la energía recibida del sol se invierte más en el calentamiento que en la evapotranspiración, y sumado a esto, se generan cambios en la nubosidad y en la humedad de la atmósfera como consecuencia de la disminución en la evaporación (Poveda Jaramillo & Mesa Sánchez, 1995).

A partir de lo anterior y teniendo en cuenta que la temperatura de superficie (T_s) es uno de los factores ambientales que incide directamente sobre los ecosistemas, es importante evaluar el efecto de la deforestación sobre su comportamiento en las coberturas conservadas y transformadas en el área del Parque Nacional Natural (PNN) Sierra de La Macarena, a partir de imágenes del sensor MODIS tomadas entre 2003 y 2019.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto de la deforestación sobre la temperatura de superficie en el Parque Nacional Natural (PNN) Sierra de La Macarena durante el periodo 2003 - 2019 a partir de imágenes del sensor MODIS.

Objetivos específicos

Describir el comportamiento de la temperatura de superficie en áreas deforestadas y conservadas del Parque Nacional Natural (PNN) Sierra de La Macarena.

Analizar la diferencia de temperatura de superficie entre las áreas deforestadas y conservadas.

Marco teórico

Temperatura de superficie

La temperatura de superficie terrestre (Ts), conocida como LST por sus siglas en inglés (LAND SURFACE TEMPERATURE), se puede describir como la estimación de la variación de la temperatura en la superficie terrestre, donde la superficie recibe los rayos del sol los cuales son absorbidos y re-emitidos, provocando un aumento en la temperatura superficial; no obstante, la variación de esta temperatura depende de las características del suelo y de otros factores como la nubosidad, humedad atmosférica, la variedad en las coberturas vegetales, condiciones topográficas, la temperatura del aire, entre otras (Mas, 2011).

El estudio de la Ts es de gran importancia, ya que ayuda a determinar la distribución de las especies vegetales e influye en los procesos biológicos, fisicoquímicos que se dan en el suelo y proporciona información sobre las variaciones temporales y espaciales del estado de la superficie (Kerr et al., 2000). También es de gran importancia en muchos campos de estudio como lo es el caso de la evapotranspiración, el cambio climático, el ciclo hidrológico, el monitoreo de la vegetación, el clima y los estudios ambientales, entre otros (Arnfield, 2003; Bastiaanssen W.G.M. et al., 1998; Hansen, J., R. Ruedy, M. Sato, 2009; Kalma et al., 2008; Kogan, 2001; Voogt & Oke, 2003; Weng, 2009; Weng et al., 2004).

Estos tipos de interacciones sobre la superficie de la tierra, son monitoreados, calculados y proporcionados por medio de sensores remotos. Uno de ellos es el sensor

MODIS, el cual está acoplado en la plataforma satelital Terra o mejor conocida como EOS AM-1, que, con la ayuda de la teledetección desde el espacio, ofrece una única posibilidad de medir la T_s sobre todo el globo terrestre, debido a su alta resolución temporal y sus valores completos promediados en lugar de valores puntuales (Li et al., 2013)

Sensor MODIS

Características y especificaciones del sensor

El sensor MODIS (Espectroradiómetro de Imágenes de Media Resolución), es un sensor de barrido continuo que fluctúa perpendicularmente en dirección de la órbita terrestre con un ángulo de aproximadamente 55° explorando porciones extensas de terreno de 2.330 kilómetros de ancho y 10 kilómetros de largo. Viajando a bordo de los satélites Aqua y Terra, lanzados en mayo de 2002 y diciembre de 1999 respectivamente. La órbita de las plataformas es heliosincrónica con una altitud de 708 y 705 km respectivamente. La órbita de Terra alrededor de la Tierra está programada para que pase de norte a sur cruzando el ecuador a las 10:30 de la mañana, mientras que Aqua pasa de sur a norte sobre el ecuador a las 1:30 de la tarde. Estas dos plataformas visualizan la superficie de la Tierra en su totalidad entre 1 a 2 días, capturando datos los cuales mejorarán los procesos que ocurren en la tierra, en los océanos y en la atmósfera, esto debido a los datos adquiridos por las 36 bandas espectrales con las que funciona el sensor (NASA, 2020).

Cuenta con una alta resolución radiométrica de 12 bits en sus 36 bandas espectrales. Las bandas de la 1 a la 7 son útiles para las aplicaciones terrestres (nubes, aerosoles, límites y propiedades del terreno); las bandas 8 a la 16 para las observaciones oceánicas (Color de

Océanos, fitoplancton y biogeoquímica) y las bandas 17 a 19 para las mediciones atmosféricas (Vapor de agua atmosférico). Las bandas 20 a la 36, cubren la porción del infrarrojo térmico del espectro (Temperatura de superficie, temperatura atmosférica, propiedades de las nubes, etc.). Dos de sus bandas son tomadas a una resolución espacial de 250 metros al nadir, cinco bandas a 500 metros y las demás 29 a 1 kilómetro. MODIS posee una gran calidad geométrica que permite el monitoreo preciso de las variaciones en la superficie terrestre con un error medio cuadrático inferior a 50 metros (WDC, 2020).

Transmisión y procesamiento de los datos

Los datos del sensor son transportados a puntos de control ubicados en la Tierra principalmente en el estado de Nuevo México, a través de la exploración y emisión de los datos desde el sistema satelital de monitoreo y transmisión de los datos conocido por sus siglas en inglés como TDRSS y la contribución de datos procedentes de otros dispositivos acondicionados en las plataformas (Terra y Aqua). Este satélite no solo permite el acceso a los datos y almacenamiento de estos para una posterior descarga, sino también, posee la opción de transmitir dichos datos de una forma más dinámica a los puntos de control ubicados en la tierra. Uno de los primeros satélites en funcionar con emisión de datos de manera inmediata, continua y con accesibilidad a cualquier tipo de usuario, lo que le permitía obtener libremente los datos, convirtiéndola en una de sus más grandes características (Mas, 2011).

Deforestación

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO (2020), la deforestación es la transformación de los bosques a otro tipo de uso de la tierra independientemente si es provocado por humanos o no, en donde incluye las áreas de bosque transformadas para el pastoreo, la agricultura, embalses, minería y zonas urbanas. Así mismo incluye la disminución permanente de la cobertura de copa por debajo del umbral mínimo de 10% y las áreas donde, por ejemplo, el impacto de la sobreutilización o las condiciones ambientales afectan al bosque hasta el punto de que no puede mantener una cobertura de copa por sobre el umbral del 10%; no obstante, se excluye particularmente las áreas donde los árboles han sido removidos como resultado de la extracción o tala, y donde se espera que el bosque se restaure de forma natural o con la ayuda de medidas silvícolas.

Deforestación en Colombia

De acuerdo al último monitoreo realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en 2019, indica que en el año 2018, la cobertura boscosa del territorio Colombiano equivalía a un 52,6% del país para un total de 60.024.712 hectáreas, asimismo, indica que en el año de referencia, el 0,2% de la extensión del país se clasificó sin información, lo que en área representa 211.931 hectáreas, lo cual se atribuye a la existencia de nubes en el momento de la captura de las imágenes satelitales.

De tal manera, se evidencia una disminución gradual en el país respecto a la cobertura boscosa natural, ya que en el año 1990 esta cobertura equivalía a 56,9% y en el

año 2010 se registró el 53%; de igual manera, es pertinente resaltar que la gran mayoría de cubierta de bosque natural en el país se localiza en la región Amazónica con un porcentaje del 66,7%, seguida de la Andina con el 17,8% y el Pacífico con 8,9% (Tabla 1) (IDEAM, 2020).

Tabla 1

Superficie cubierta por bosque natural en Colombia

Año	No. Reporte	Bosque		No Bosque		Sin Información	
		Hectáreas (ha)	(%)	Hectáreas (ha)	(%)	Hectáreas (ha)	(%)
1990	672	64.862.435	56,9	46.701.075	40,9	2.495.977	2,2
2000	673	62.497.695	54,8	49.563.274	43,5	1.998.518	1,8
2005	3299	61.109.421	53,6	50.694.521	44,4	2.255.544	2,0
2010	3301	60.507.667	53,0	52.223.931	45,8	1.327.888	1,2
2012	3303	60.013.575	52,6	52.269.837	45,8	1.776.075	1,6
2013	3305	59.134.663	51,8	52.433.226	46,0	2.491.598	2,2
2014	3269	58.969.993	51,7	53.014.583	46,5	2.074.911	1,8
2015	3271	59.558.064	52,2	53.127.309	46,6	1.374.114	1,2
2016	4857	59.312.277	52,0	53.294.101	46,7	1.453.108	1,3
2017	6569	59.311.350	52,0	53.491.619	46,9	1.256.518	1,1
2018	7121	60.024.712	52,6	53.822.844	47,2	211,931	0,2

Nota. Elaboración propia a partir de los reportes de bosque natural (IDEAM, 2020)

Incidencia de la deforestación en la temperatura de superficie

De acuerdo con investigaciones dirigidas hacia la pérdida de vegetación en bosques y selvas mediante capturas de sensores remotos, se ha comprobado que a medida que aumenta la reducción en las coberturas vegetales, se genera un incremento en la Ts y debido a la deforestación indiscriminada, ocasiona que este calentamiento en la superficie sea global (Ambientalia, 2020), como lo sustenta Luis Maisincho, investigador de la Universidad Amazónica Ikiam y del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

(INAMHI), en una de sus investigaciones, donde afirma que, las superficies con escasas coberturas vegetales a exclusión del hielo, retendrán mayores porcentajes de radiación y, por tal motivo, aumentará su temperatura en la superficie y por ende, la temperatura del aire. De acuerdo con lo anterior, se puede observar la relación existente entre la deforestación y el calentamiento en la superficie de la tierra (ElComercio.com, 2020).

Por otro lado, la deforestación en latitudes altas puede obtener el efecto contrario, ya que estudios científicos mencionan que la deforestación en latitudes nortes en la región boreal, ocasiona un comportamiento de enfriamiento, ya que la temperatura en las áreas deforestadas son menores debido a que estas superficies reflejan la radiación solar en lugar de retenerla (Martins, 2011).

Estado del conocimiento

Tarawally et al. (2018) en Sierra Leona, realizaron una investigación sobre la relación entre los cambios de cubierta forestal y sus implicaciones en la Ts en las ciudades de Freetown y Bo, entre los años de 1998 y 2015, donde utilizaron los datos del sensor remoto Landsat. Mediante la inspección visual se obtuvo como resultado que la temperatura de superficie aumentó en 4°C en la ciudad de Bo, mientras que en Freetown aumentó en 2°C, estos resultados se debieron al aumento de áreas forestales en la ciudad de Freetown y, por el contrario, las áreas de vegetación disminuyeron en la ciudad de Bo durante el mismo periodo.

En Perú, Mendoza et al. (2017) determinaron los cambios en la cobertura de bosques a causa de la deforestación en los últimos 27 años en Leymebamba, distrito que ha sido altamente afectado por la práctica de la agricultura migratoria. Donde por medio de imágenes Landsat TM.OLI de los años 1989, 1998, 2007 y 2016, realizaron un análisis multitemporal para determinar el cambio que sufrió la zona conforme a la pérdida de cobertura boscosa. Obtuvieron que en los primeros 9 años (1989-1998) se presentó una tasa alta de deforestación de 262,7 hectáreas de bosque al año y en los siguientes lapsos de 9 años (1998-2007 y 2007-2016) presentan ligeros aumentos en comparación con los primeros 9 años (34,8 ha/año y 58,2 ha/año respectivamente). De manera general la extensión de bosque perdido entre 1989 y 2016 fue de 3202,26 hectáreas con un promedio de 118,6 hectáreas de bosque talado por año.

Esha y Ahmed (2017), realizaron un estudio enfocado a la variación de Ts en la región noroeste de Bangladesh, mediante el sensor remoto Landsat 5 TM en los años 2003, 2008, 2010 y 2011, comparando con los parámetros de verdor (NDVI), humedad (NDWI) e impermeabilidad (NDBI), analizando la influencia que tienen los cambios de la cobertura vegetal sobre la Ts, en donde se obtuvo como resultado, que la temperatura es baja en áreas con abundante vegetación, lo cual difiere a las áreas urbanizadas, concluyendo que la Ts aumenta día a día y es influenciada por el uso y cobertura del suelo.

Arrieta, E. (2015) realizó la estimación de la deforestación en el departamento del Chocó utilizando el mapa de cobertura forestal/no forestal de la agencia espacial JAXA, enfocada en identificar y cuantificar las posibles áreas de deforestación en la zona de estudio, dando como resultado el reconocimiento de 2,83 hectáreas de deforestación y una disminución en la cobertura forestal de 2,99 hectáreas entre el año 2007 y 2010, con esta información se generó el mapa de JAXA, los datos en bruto se prepararon de tal manera que cubrieron el procesamiento individual de unidades de 500 kilómetros cuadrados de dimensión.

Galicia, et al. (2014) desarrollaron una investigación que consistió en describir por medio de los sistemas de información Geográfica y en complemento con la percepción remota, los cambios ambientales en las selvas y bosques de México, proponiendo una identificación regional de los cambios en la estructura y el funcionamiento de las selvas y los bosques en tres niveles temporales; adicionalmente, estudiaron el patrón de deforestación de la selva baja caducifolia en diversas zonas. Con este enfoque se caracterizó el fenómeno de El Niño en los años 1997-1998 en el país, con la ayuda de

imágenes de los sensores MODIS, AVHRR y LANDSAT. Concluyendo que el esquema propuesto por ellos, permite un análisis multiescalar en términos temporales y espaciales, y que así mismo, es una herramienta de caracterización útil, de bajos costos, y repetible en futuros eventos hidrometeorológicos extremos, para los organismos nacionales encargados de monitorear estos cambios ambientales en el país.

Carvajal y Pabón (2014) realizaron en la región Andina de Colombia una evaluación del comportamiento de la temperatura de superficie en las diferentes coberturas existentes en la región. Por medio de imágenes de la cuenca del río La Vieja obtenidas con el satélite Landsat, estimaron la relación de los índices de vegetación y agua de diferencia normalizada con respecto a la temperatura de superficie terrestre y valorando las diversas coberturas existentes (café, pastos, zona urbana, etc.), hallando diferencias importantes entre coberturas. Con lo anterior concluyeron, que la cobertura de café se asimila a la de los bosques y a las plantaciones con descenso en temperatura, también que los pastos tienen mayor capacidad de incrementar la temperatura de superficie que la incidencia de las zonas urbanas. Planteando que en las zonas rurales también se presentan islas de calor las cuales se asocian a las labores pecuarias y que no han sido estudiadas a fondo.

En Colombia, Castro, I. (2009) desarrolló una metodología que consistió en la validación de los productos MODIS para la estimación de la T_s en las zonas heterogéneas y homogéneas de país. Aportando información sobre la explotación de los datos satelitales del sensor MODIS en conjunto con los termodatos de las estaciones en terreno, permitiéndole establecer los parámetros que explican espacialmente el fenómeno de temperatura en el país y cómo ésta se comporta de acuerdo a las diferencias geográficas

propias del territorio nacional, a través del modelamiento geoestadístico, el conocimiento empírico y los ajustes teóricos, logrando establecer un modelo de regresión lineal múltiple, el cual le permitía estimar la Ts con alta fiabilidad.

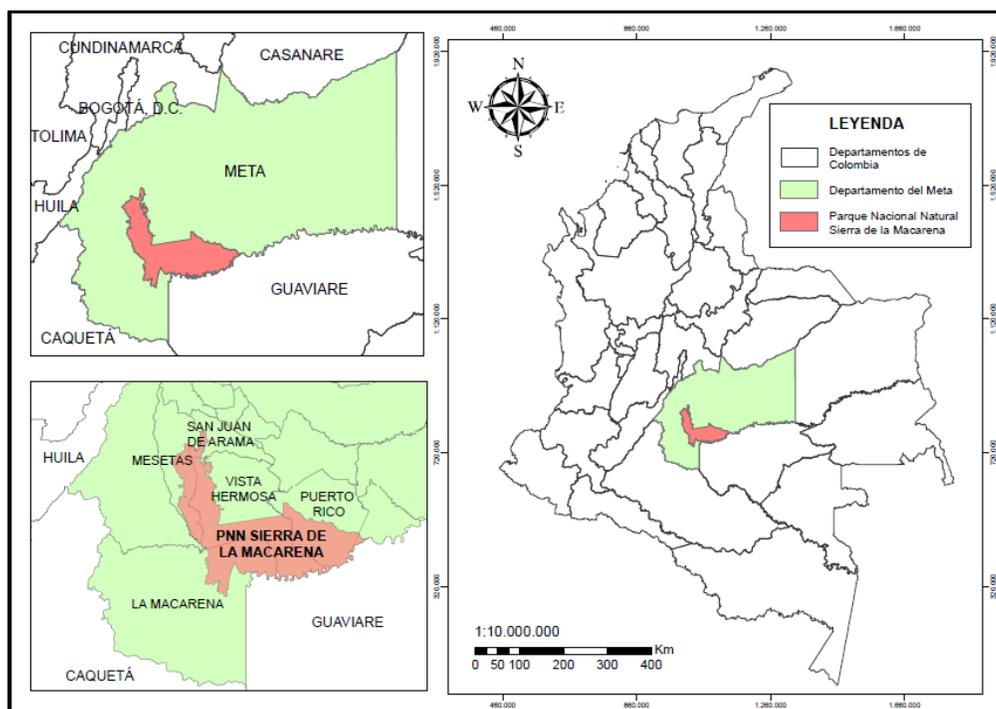
Metodología

Área de estudio

El Parque Nacional Natural (PNN) Sierra de La Macarena está ubicado en el departamento del Meta (Figura 1), fue creado mediante Decreto 1989 de 1 de Septiembre de 1989 y hace parte de la Reserva Biológica de La Macarena. La extensión total del parque es de 629.280 hectáreas, de las cuales el 39% pertenecen a al municipio de Vista Hermosa, el 22% pertenece a La Macarena, el 22% pertenece a Puerto Rico, 14.5% pertenece a Mesetas, el 2% pertenece a San Juan de Arama y el 0,5% pertenece a Puerto Concordia (Zárate et al., 2005).

Figura 1

Localización del Parque Nacional Natural Sierra de La Macarena

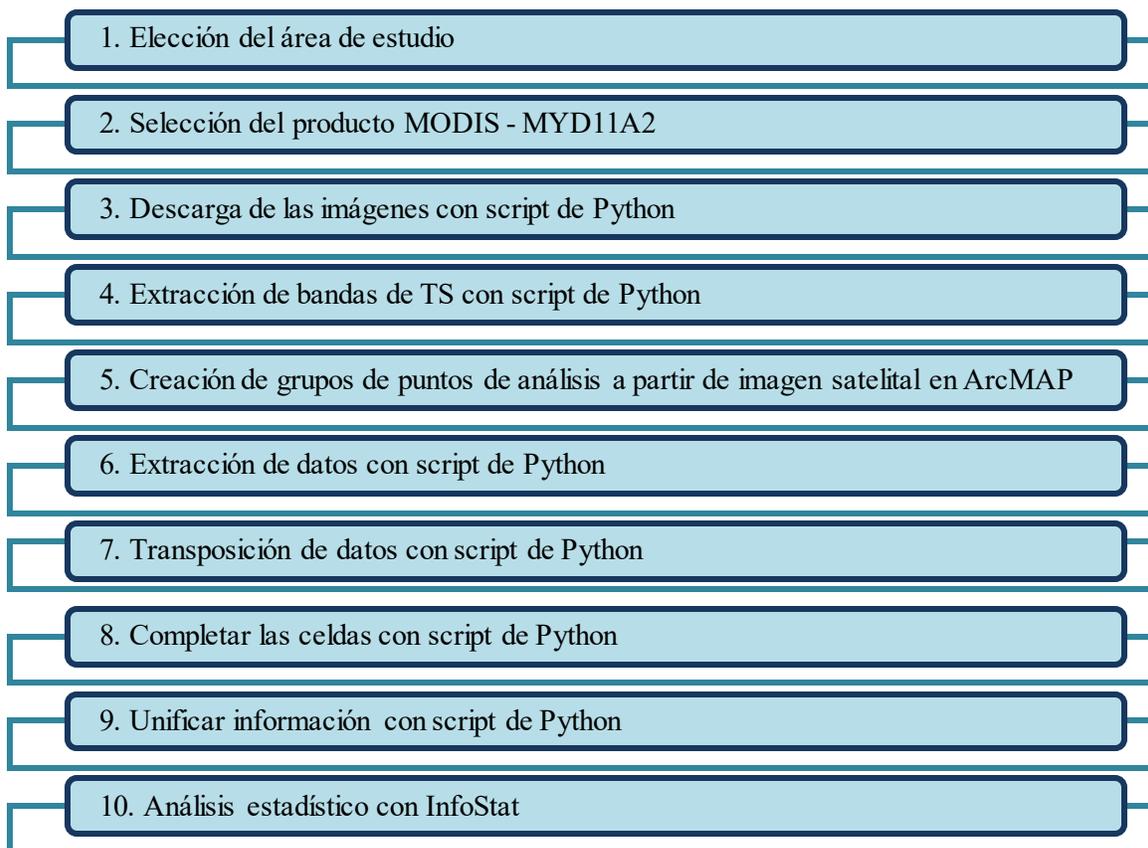


El PNN Sierra de La Macarena presenta una gran variedad de ecosistemas (vegetación herbácea de sabana Amazónica, matorrales, bosques inundables y selvas húmedas), además, debido a su estructura montañosa en algunas zonas, insinúa la existencia de especies singulares y un destacado índice de variedad en flora y fauna. Donde se ha llegado a evidenciar muestras arqueológicas (petroglifos y pictogramas de indígenas) en la ronda de los ríos Guayabero y Duda (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2020).

La metodología aplicada en el estudio (Figura 2) consistió en una serie de procedimientos con el fin de obtener los datos que facilitarían el análisis respecto a la Ts en la zona del parque a partir de grupos, meses, años y coberturas. Primero se eligió el área de estudio, luego se seleccionó el producto MODIS a descargar, posteriormente mediante diferentes scripts de Python se procedió a descargar la imagen, extraer las bandas de Ts, extraer y transponer los datos, completar las celdas y unificar la información en dos archivos correspondientes al día y a la noche, y finalmente se realizó el análisis estadístico de los datos.

Figura 2

Esquema de metodología aplicada



Procesamiento digital de las imágenes del sensor MODIS

Selección del producto MODIS a descargar

Se accedió a la página de MODIS (<https://modis.gsfc.nasa.gov/data/>) / Data / y teniendo en cuenta que la variable a analizar es la temperatura, de superficie se seleccionó Land Surface Temperature (Figura 3).

Figura 3

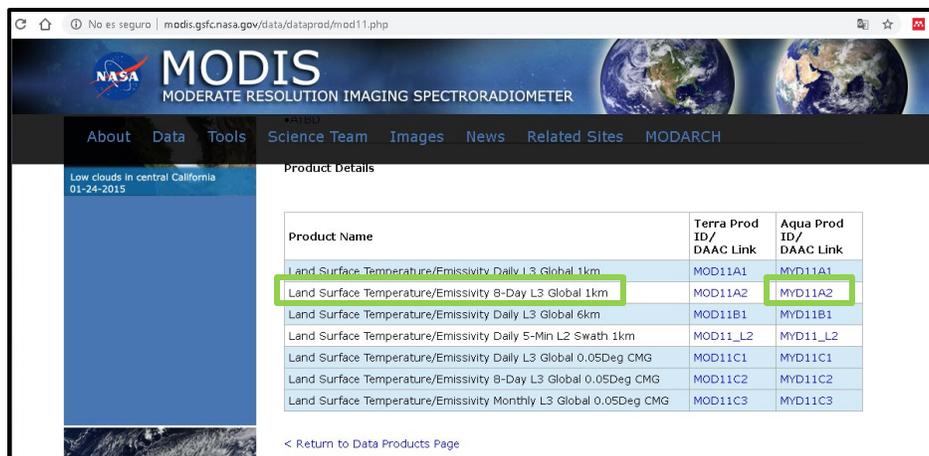
Acceso a los productos de Temperatura de superficie en MODIS



Luego, se eligió el producto MYD11A2 v006 (Wan et al., 2015) (Figura 4), tomado desde el espectroradiómetro a bordo del satélite Aqua, con una resolución temporal de 8 días y una resolución espacial de 1 kilómetro.

Figura 4

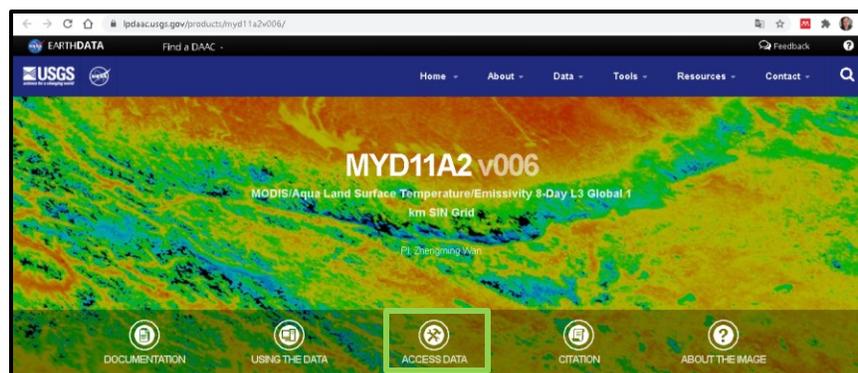
Elección de producto MYD11A2



Una vez elegido el producto, se procedió a acceder a los datos mediante *ACCESS DATA* (Figura 5).

Figura 5

Acceso a datos



Allí se eligió el buscador de la NASA – NASA Earthdata Search (Figura 6) y se accedió en Launch NASA Earthdata Search.

Figura 6

Acceso al buscador NASA Earthdata

Access Data			
Tool	Functionality	Description	Download Data
AppEEARS	Decode Quality, Order, Search, Subset	The Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples (AppEEARS) offers users a simpl...	
Data Pool	Direct Download	The Data Pool is the publicly available portion of the LP DAAC online holdings. Data Pool provides ...	
NASA Earthdata Search	Browse Image Preview, Direct Download, Order, Search, Subset	Earthdata Search combines the latest EOSDIS service offerings with user experience, research, and e...	
USGS EarthExplorer	Browse Image Preview, Search	The EarthExplorer (EE) user interface, developed by the United States Geological Survey (USGS), pro...	
OPeNDAP	Direct Download, Subset	The LP DAAC OPeNDAP services provide access to a number of data products at the LP DAAC. The Open-s...	
DAAC2Disk Utility	Direct Download	The LP DAAC2Disk download manager allows users to simplify the search and HTTPS download process of...	

Figura 7

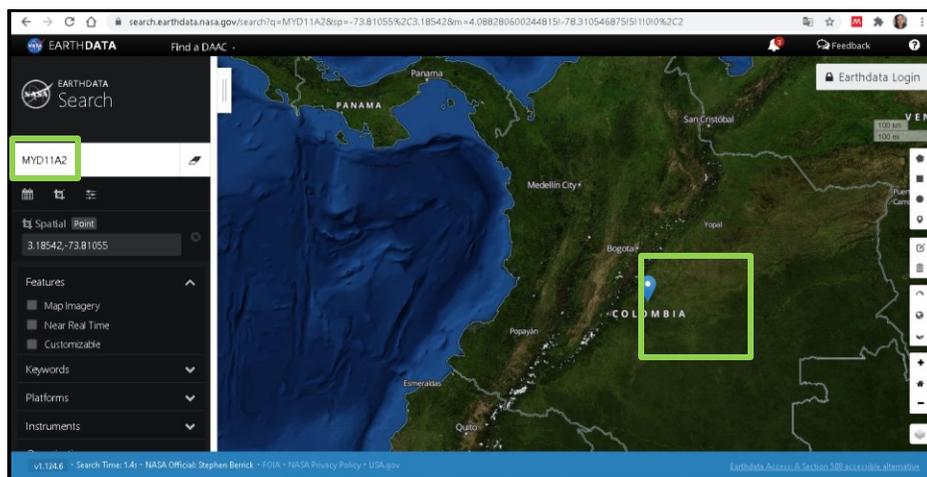
Acceso a Launch NASA Earthdata Search



Estando en el portal, en la casilla de búsqueda se digitó el nombre del producto de interés, que para el estudio es MYD11A2 y mediante la herramienta de selección por punto se eligió el área de estudio sobre el centro del país, hacia el límite occidental entre la región Amazonía y Orinoquía (Figura 8).

Figura 8

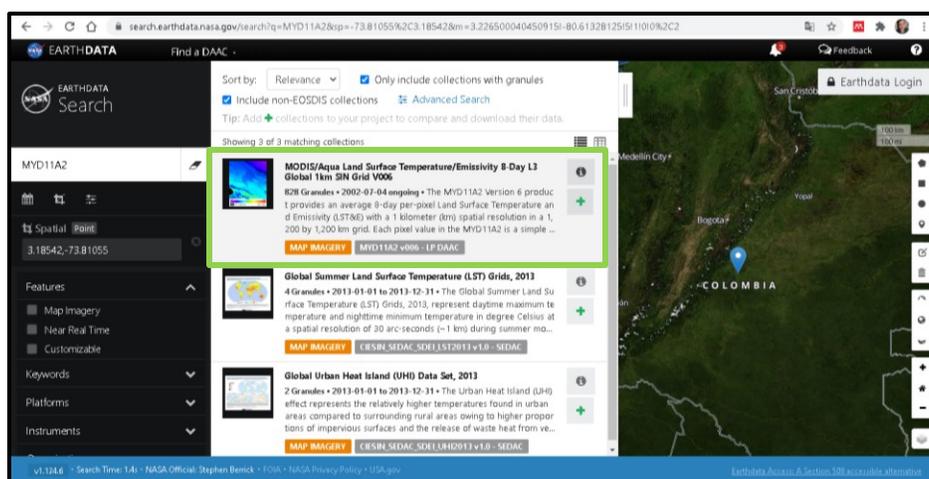
Elección de área de estudio



Posteriormente, en una ventana emergente aparecieron los resultados para el área elegida (Figura 9).

Figura 9

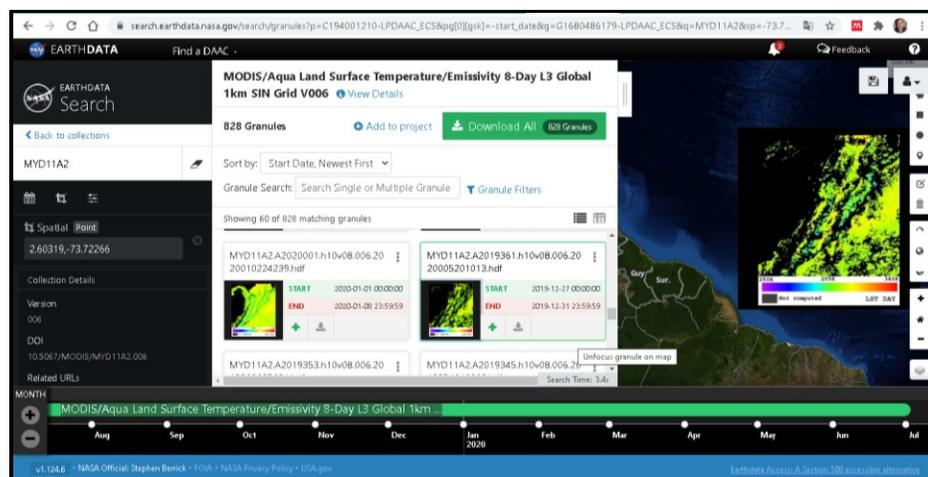
Resultados de imágenes en el área



Luego, se eligió una imagen del 2019 (Figura 10).

Figura 10

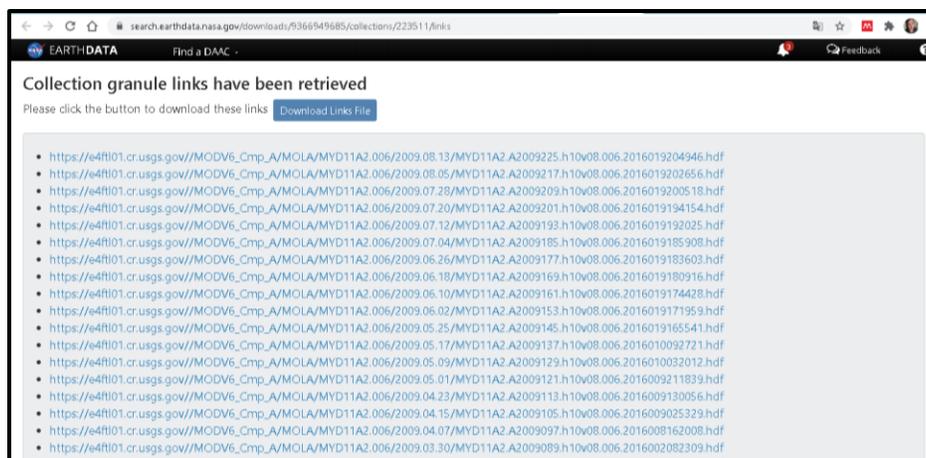
Elección de la imagen



Se procedió a visualizar los links de los resultados (Figura 11).

Figura 11

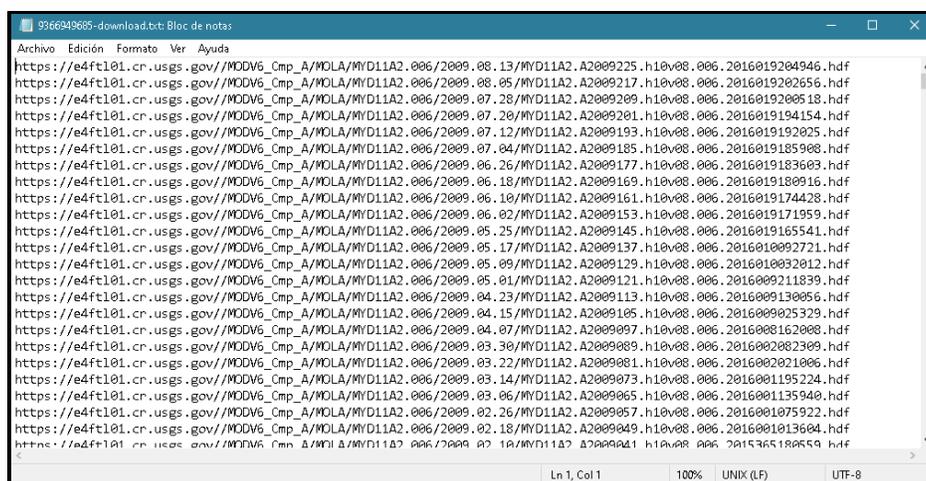
Links de imágenes



Luego se descargaron dichos links en un archivo .txt (Figura 12) cuya información fue necesaria para el proceso de descarga de las imágenes.

Figura 12

Archivo.txt con links de imágenes



Descarga de las imágenes

Para la descarga de las imágenes fue necesario configurar en PyCharm el script de Python llamado DescargaModis.py (Echeverri, 2019) (Figura 13), cuyo resultado fue la descarga de 1570 imágenes .hdf (Figura 14).

Figura 13

Script para descarga de la imagen

```

1 import pymodis
2 import os
3 import pandas as pd
4 import numpy
5
6 #os.environ["GDAL_DATA"] = 'C:\OSGeo46\share\gdal'
7 start = '2003-01-01' # Fecha de inicio de la descarga Año/Mes/Dia
8 end = '2019-12-31' # Fecha final de la descarga Año/Mes/Dia
9
10
11 def download_modis():
12     folder = 'C:\My11A2' # carpeta de destino de los archivos hdf
13     url = 'https://data11a1.cr.usgs.gov/My11A2_006/2011_12_27/h1v07_006_2016102101243.hdf'
14     path = '//MODIS_Comp_A/NDL_A/'
15     product = 'MY01A2_006'
16     files = 'h1v08'
17     modis_down = pymodis.downmodis(destinationFolder=folder,
18                                   password='f9w1851-', user='anvelascos',
19                                   download_modis)
20
21 download_modis()
  
```

```

Run: ExtraccionBandasTS
Layer HDF4_EOS:EOS_GRID:"C:\MY11A2\MY01A2_A2019353_h10v08_006_2019362035621.hdf":MODIS_Grid_8Day_1km_LST:LST_Night_1km reprojected
All layer for dataset "C:\MY11A2\MY01A2_A2019353_h10v08_006_2019362035621.hdf" reprojected
Layer HDF4_EOS:EOS_GRID:"C:\MY11A2\MY01A2_A2019361_h10v08_006_2020085201013.hdf":MODIS_Grid_8Day_1km_LST:LST_Day_1km reprojected
Layer HDF4_EOS:EOS_GRID:"C:\MY11A2\MY01A2_A2019361_h10v08_006_2020085201013.hdf":MODIS_Grid_8Day_1km_LST:LST_Night_1km reprojected
All layer for dataset "C:\MY11A2\MY01A2_A2019361_h10v08_006_2020085201013.hdf" reprojected
Process finished with exit code 0
  
```

Figura 14

Descarga de 1570 imágenes

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
MYD11A2.A2019105.h10v08.006.20191917012326.hdf	5/07/2020 1:40 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	5,120 KB
MYD11A2.A2019297.h10v08.006.20191906044951.hdf	5/07/2020 1:40 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	4,967 KB
MYD11A2.A2019289.h10v08.006.2019190408446.hdf	5/07/2020 1:40 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	4,430 KB
MYD11A2.A2019281.h10v08.006.201929152706.hdf	5/07/2020 1:40 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	4,243 KB
MYD11A2.A2019273.h10v08.006.201928062512.hdf	5/07/2020 1:41 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	5,143 KB
MYD11A2.A2019265.h10v08.006.2019275211130.hdf	5/07/2020 1:41 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	5,019 KB
MYD11A2.A2019257.h10v08.006.201926602439.hdf	5/07/2020 1:41 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	3,376 KB
MYD11A2.A2019249.h10v08.006.201926221555.hdf	5/07/2020 1:41 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	5,453 KB
MYD11A2.A2019241.h10v08.006.2019190040823.hdf	5/07/2020 1:41 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	5,319 KB
MYD11A2.A2019233.h10v08.006.2019248190718.hdf	5/07/2020 1:42 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	5,827 KB
MYD11A2.A2019225.h10v08.006.201923422591.hdf	5/07/2020 1:42 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	4,108 KB
MYD11A2.A2019217.h10v08.006.2019226040827.hdf	5/07/2020 1:42 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	5,172 KB
MYD11A2.A2019209.h10v08.006.2019218030845.hdf	5/07/2020 1:42 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	4,854 KB
MYD11A2.A2019201.h10v08.006.2019210030641.hdf	5/07/2020 1:43 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	4,167 KB
MYD11A2.A2019193.h10v08.006.2019202033348.hdf	5/07/2020 1:43 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	5,541 KB
MYD11A2.A2019185.h10v08.006.2019194030457.hdf	5/07/2020 1:43 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	5,263 KB
MYD11A2.A2019177.h10v08.006.2019186031255.hdf	5/07/2020 1:43 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	4,579 KB
MYD11A2.A2019169.h10v08.006.2019178034844.hdf	5/07/2020 1:43 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	3,712 KB
MYD11A2.A2019161.h10v08.006.2019170040855.hdf	5/07/2020 1:44 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	4,648 KB
MYD11A2.A2019153.h10v08.006.2019162040215.hdf	5/07/2020 1:44 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	4,624 KB
MYD11A2.A2019145.h10v08.006.2019154040941.hdf	5/07/2020 1:44 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	4,262 KB
MYD11A2.A2019137.h10v08.006.2019148175946.hdf	5/07/2020 1:44 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	4,275 KB
MYD11A2.A2019129.h10v08.006.2019138030029.hdf	5/07/2020 1:45 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	3,500 KB
MYD11A2.A2019121.h10v08.006.2019130024446.hdf	5/07/2020 1:45 a. m.	ERDAS IMAGINE D...	4,822 KB

Extracción de bandas

Para la descarga de las imágenes fue necesario configurar el script de Python llamado `ExtraccionBandas.py` en PyCharm (Echeverri, 2019) (Figura 15), cuyo resultado fue la descarga de 1618 imágenes .tif (Figura 16). Las bandas que se extrajeron fueron la 1 y 5, que corresponden a la temperatura de superficie terrestre del día y la noche con resolución espacial de 1 kilómetro.

Figura 15

Script para extracción de bandas

```

13 lista_archivos = os.listdir(str(entrada_hdf)) # Esta URL 'F:\Producto20011A1' contiene la carpeta que contiene los archivos HDF
14 print(lista_archivos)
15 subset = "(1 0 0 0 1 0 0 0 0 0)" # Bandas a reproyectar estan en 1, las que no en 0. En orden
16 # subset = "(1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 1)" # Bandas a reproyectar estan en 1, las que no en 0. En orden
17 cols_resumen = [ 'Archivo' ]
18 print(cols_resumen)
19 print(start)
20 print(end)
21 idx_resumen = pd.DataFrame(index=start, end=end, freq='B', name='Fecha')
22 idx_resumen = pd.date_range(start=start, end=end, freq='B', name='Fecha')
23 print(idx_resumen)
24 df_resumen = pd.DataFrame(index=idx_resumen, columns=cols_resumen)
25 df_final = pd.DataFrame(index=idx_resumen, columns=cols_resumen)
26 for archivo in lista_archivos:
27     if archivo[-1] == ".hdf":
28         transform_modulo
29
30 Run: ExtraccionBandas.py
31 Layer HDF4_EOS_GRID:"C:\MY11A2\MYD11A2_A2819353.h18v08.086.2819362835621.hdf":MODIS_Grid_8day_1km_LST:Night_1km reprojected
32 All Layer for dataset "C:\MY11A2\MYD11A2_A2819353.h18v08.086.2819362835621.hdf": reprojected
33 Layer HDF4_EOS_GRID:"C:\MY11A2\MYD11A2_A2819361.h18v08.086.2828885281813.hdf":MODIS_Grid_8day_1km_LST:Day_1km reprojected
34 Layer HDF4_EOS_GRID:"C:\MY11A2\MYD11A2_A2819361.h18v08.086.2828885281813.hdf":MODIS_Grid_8day_1km_LST:Night_1km reprojected
35 All Layer for dataset "C:\MY11A2\MYD11A2_A2819361.h18v08.086.2828885281813.hdf": reprojected
36 Process finished with exit code 0
  
```

Figura 16

Descarga de 1618 imágenes con extracción de bandas 1 y 5

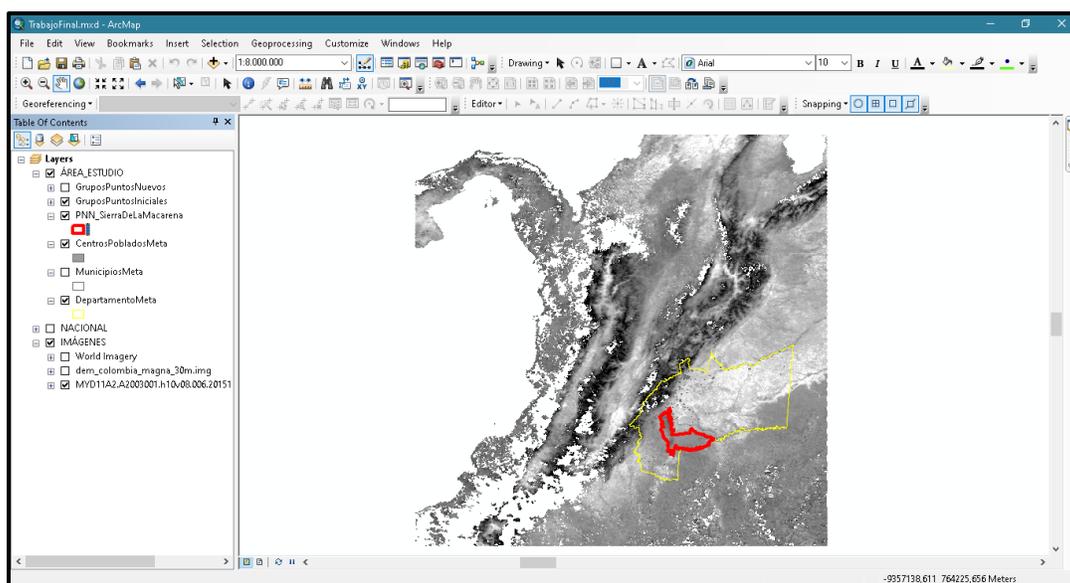
MYD11A2.A2019113.H10.08.006.2019122131402_LST_Night_1km.tif	5/07/2020 9:35 p.m.	Archivo TIF	2.801 KB
MYD11A2.A2019121.H10.08.006.2019130024446_LST_Day_1km.tif	5/07/2020 9:35 p.m.	Archivo TIF	2.801 KB
MYD11A2.A2019121.H10.08.006.2019130024446_LST_Night_1km.tif	5/07/2020 9:35 p.m.	Archivo TIF	2.801 KB
MYD11A2.A2019129.H10.08.006.20191380300291_LST_Day_1km.tif	5/07/2020 9:35 p.m.	Archivo TIF	2.801 KB
MYD11A2.A2019129.H10.08.006.20191380300291_LST_Night_1km.tif	5/07/2020 9:35 p.m.	Archivo TIF	2.801 KB
MYD11A2.A2019137.H10.08.006.2019140175946_LST_Day_1km.tif	5/07/2020 9:35 p.m.	Archivo TIF	2.801 KB
MYD11A2.A2019137.H10.08.006.2019140175946_LST_Night_1km.tif	5/07/2020 9:35 p.m.	Archivo TIF	2.801 KB
MYD11A2.A2019145.H10.08.006.2019154040941_LST_Day_1km.tif	5/07/2020 9:35 p.m.	Archivo TIF	2.801 KB
MYD11A2.A2019145.H10.08.006.2019154040941_LST_Night_1km.tif	5/07/2020 9:35 p.m.	Archivo TIF	2.801 KB
MYD11A2.A2019153.H10.08.006.2019162040215_LST_Day_1km.tif	5/07/2020 9:35 p.m.	Archivo TIF	2.801 KB
MYD11A2.A2019153.H10.08.006.2019162040215_LST_Night_1km.tif	5/07/2020 9:35 p.m.	Archivo TIF	2.801 KB
MYD11A2.A2019161.H10.08.006.2019170040655_LST_Day_1km.tif	5/07/2020 9:35 p.m.	Archivo TIF	2.801 KB
MYD11A2.A2019161.H10.08.006.2019170040655_LST_Night_1km.tif	5/07/2020 9:35 p.m.	Archivo TIF	2.801 KB
MYD11A2.A2019169.H10.08.006.2019178034844_LST_Day_1km.tif	5/07/2020 9:35 p.m.	Archivo TIF	2.801 KB
MYD11A2.A2019169.H10.08.006.2019178034844_LST_Night_1km.tif	5/07/2020 9:35 p.m.	Archivo TIF	2.801 KB
MYD11A2.A2019177.H10.08.006.2019186031255_LST_Day_1km.tif	5/07/2020 9:35 p.m.	Archivo TIF	2.801 KB
MYD11A2.A2019177.H10.08.006.2019186031255_LST_Night_1km.tif	5/07/2020 9:35 p.m.	Archivo TIF	2.801 KB
MYD11A2.A2019185.H10.08.006.2019194030457_LST_Day_1km.tif	5/07/2020 9:35 p.m.	Archivo TIF	2.801 KB
MYD11A2.A2019185.H10.08.006.2019194030457_LST_Night_1km.tif	5/07/2020 9:35 p.m.	Archivo TIF	2.801 KB

Creación de grupos de puntos

Para la creación de los grupos de puntos, fue necesario cargar una de las imágenes que resultaron del proceso anterior en ArcMap 10.3 (ESRI Inc, 1999), donde el requisito fue que no tuviera pixeles faltantes en el área de estudio, para el caso se utilizó la imagen MYD11A2.A2003001.h10v08.006.2015181013638_LST_Day_1km.tif (Figura 17).

Figura 17

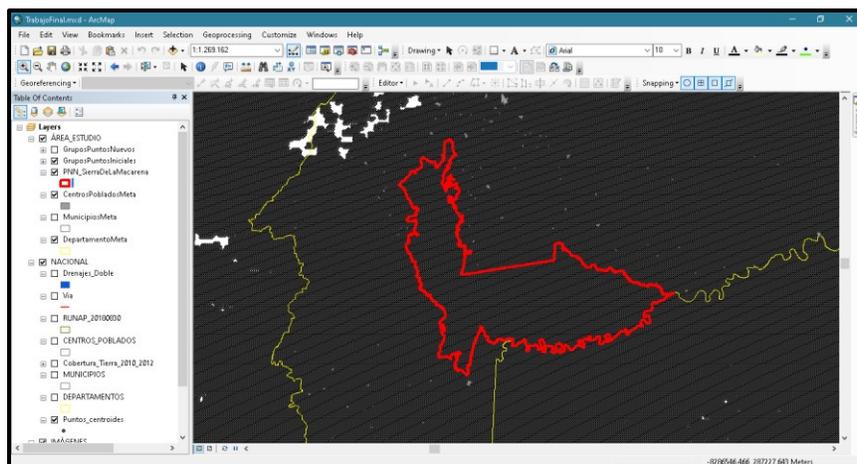
Carga en ArcMAP de imagen .tif



Posteriormente se realizó un *raster to point* para obtener los centroides de los pixeles en formato vector (Figura 18) y de esta forma poder seleccionar los grupos de puntos necesarios para el análisis.

Figura 18

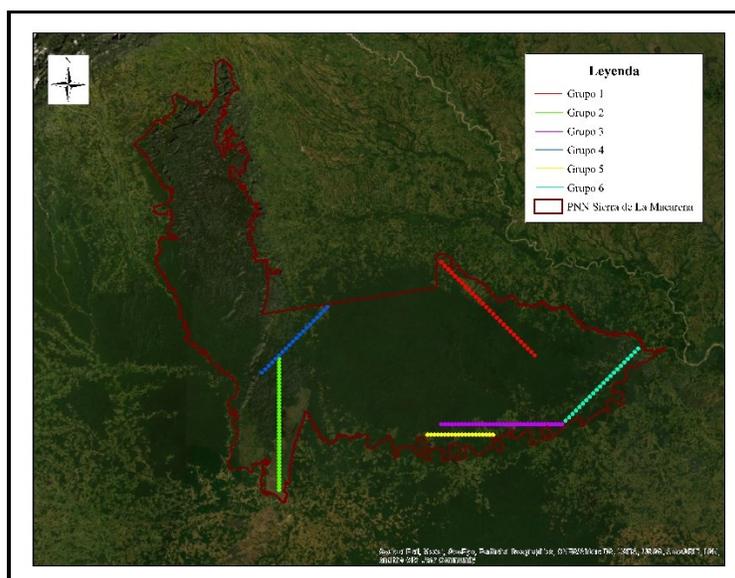
Centroides de pixeles con Raster to point



Luego se utilizó una imagen de ArcGIS Online que permitió la observación de las áreas conservadas y las áreas transformadas dentro del polígono del Parque Nacional Natural Sierra de La Macarena y se procedió a crear 6 grupos de puntos (cada uno tiene entre 20 y 38 puntos) con la herramienta Select Features by Line y se exportaron en 6 shapes separados (Figura 19).

Figura 19

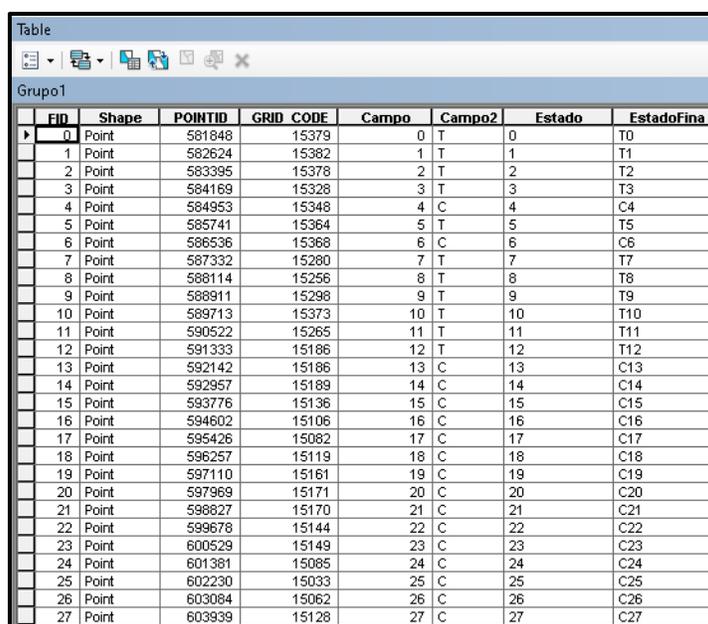
Creación grupos de puntos



Además, en cada una de las tablas de atributos de los shapes se crearon los campos Campo 2, Estado y EstadoFina (Figura 20) que contienen la información del número del pixel, el estado del área del punto específico (conservado o transformado) y la combinación de estos dos para permitir el procesamiento posterior.

Figura 20

Creación de campos en tablas de atributos



FID	Shape	POINTID	GRID_CODE	Campo	Campo2	Estado	EstadoFina
0	Point	581848	15379	0	T	0	T0
1	Point	582624	15382	1	T	1	T1
2	Point	583395	15378	2	T	2	T2
3	Point	584169	15328	3	T	3	T3
4	Point	584953	15348	4	C	4	C4
5	Point	585741	15364	5	T	5	T5
6	Point	586536	15368	6	C	6	C6
7	Point	587332	15280	7	T	7	T7
8	Point	588114	15256	8	T	8	T8
9	Point	588911	15298	9	T	9	T9
10	Point	589713	15373	10	T	10	T10
11	Point	590522	15265	11	T	11	T11
12	Point	591333	15186	12	T	12	T12
13	Point	592142	15186	13	C	13	C13
14	Point	592957	15189	14	C	14	C14
15	Point	593776	15136	15	C	15	C15
16	Point	594602	15106	16	C	16	C16
17	Point	595426	15082	17	C	17	C17
18	Point	596257	15119	18	C	18	C18
19	Point	597110	15161	19	C	19	C19
20	Point	597969	15171	20	C	20	C20
21	Point	598827	15170	21	C	21	C21
22	Point	599678	15144	22	C	22	C22
23	Point	600529	15149	23	C	23	C23
24	Point	601381	15085	24	C	24	C24
25	Point	602230	15033	25	C	25	C25
26	Point	603084	15062	26	C	26	C26
27	Point	603939	15128	27	C	27	C27

Extracción de datos

Para la extracción de datos fue necesario configurar el script de Python llamado ExtraerDatos.py en Pycharm (Echeverri, 2019) (Figura 21), cuyo resultado fue la creación de 12 archivos Excel (2 por cada grupo: 6 para el día y 6 para la noche) con la información de la temperatura por punto y por fecha (Figura 22).

Figura 21

Script para extracción de datos

```

os.environ['GDAL_DATA'] = 'C:\OSGeo4W\share\gdal'

# Se crea el dataframe de bandas donde se guardaran los resultados
start = '2003-01-01' # Fecha de inicio de la serie de imágenes para extraer los datos
end = '2019-12-31' # Fecha de inicio de la serie de imágenes para extraer los datos
campo = 'campo_' # Este campo corresponde al campo del Shape que se va a utilizar como referencia para extraer los datos
Producto = 'MYD11A2' # Producto utilizado de MODIS
salidaExcel = 'C:\MYD11A2\Proyectadas\DatosTS' # Esta direccion es donde se van a guardar los datos en un archivo excel
filtro = 20 # Esta funcion elimina las series que contengan menos del numero de datos asignados
# Se abre el dataframe que contiene el listado del nombres de los archivos reproyectados a los que se les extraera el valor de temper
xls_reprojected = pd.ExcelFile('C:\MYD11A2\Proyectadas\listado_Imagenes_MYD11A2.xlsx')
rango_fecha = pd.date_range(start=start, end=end, freq='W', name='Fecha')
df_results = pd.DataFrame(index=rango_fecha)
  
```

Run: ExraerDatosTS
 28.570000000000005
 28.0100000000000048
 28.090000000000002
 27.790000000000002
 24.930000000000007
 Process finished with exit code 0

Figura 22

Tablas en excel con información de temperatura por punto y fecha

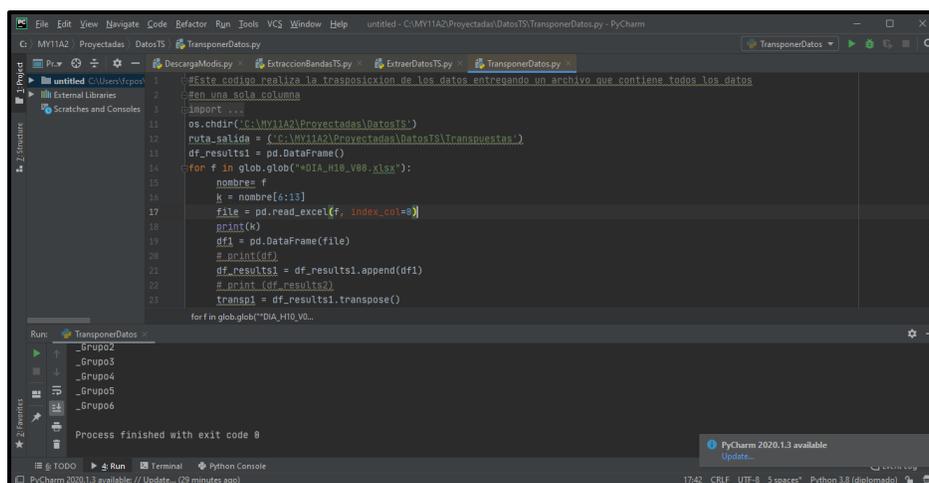
Datos_Grupo1_MYD11A2_LST_NOCHE_H10_V08.xlsx	7/07/2020 4:34 p. m.	Hoja de cálculo d...	116 KB
Datos_Grupo2_MYD11A2_LST_NOCHE_H10_V08.xlsx	7/07/2020 4:37 p. m.	Hoja de cálculo d...	190 KB
Datos_Grupo3_MYD11A2_LST_NOCHE_H10_V08.xlsx	7/07/2020 4:40 p. m.	Hoja de cálculo d...	147 KB
Datos_Grupo4_MYD11A2_LST_NOCHE_H10_V08.xlsx	7/07/2020 4:43 p. m.	Hoja de cálculo d...	98 KB
Datos_Grupo5_MYD11A2_LST_NOCHE_H10_V08.xlsx	7/07/2020 4:45 p. m.	Hoja de cálculo d...	86 KB
Datos_Grupo6_MYD11A2_LST_NOCHE_H10_V08.xlsx	7/07/2020 4:50 p. m.	Hoja de cálculo d...	98 KB
Datos_Grupo1_MYD11A2_LST_DIA_H10_V08.xlsx	7/07/2020 4:36 p. m.	Hoja de cálculo d...	165 KB
Datos_Grupo2_MYD11A2_LST_DIA_H10_V08.xlsx	7/07/2020 4:39 p. m.	Hoja de cálculo d...	229 KB
Datos_Grupo3_MYD11A2_LST_DIA_H10_V08.xlsx	7/07/2020 4:42 p. m.	Hoja de cálculo d...	211 KB
Datos_Grupo4_MYD11A2_LST_DIA_H10_V08.xlsx	7/07/2020 4:44 p. m.	Hoja de cálculo d...	125 KB
Datos_Grupo5_MYD11A2_LST_DIA_H10_V08.xlsx	7/07/2020 4:47 p. m.	Hoja de cálculo d...	126 KB
Datos_Grupo6_MYD11A2_LST_DIA_H10_V08.xlsx	7/07/2020 4:52 p. m.	Hoja de cálculo d...	137 KB

Transposición de datos

Para la transposición de los datos fue necesario configurar el script de Python llamado *TransponerDatos.py* en PyCharm (Echeverri, 2019) (Figura 23), cuyo resultado fue la creación de 12 archivos Excel (2 por cada grupo, 6 para el día y 6 para la noche) con la información de la temperatura por punto y por fecha en una sola columna (Figura 24).

Figura 23

Script para transposición de datos



```

1 #Este código realiza la transposición de los datos entregando un archivo que contiene todos los datos
2 #en una sola columna
3 import os
11 os.chdir('C:\MV11A2\Proyectadas\DatosTS')
12 ruta_salida = ('C:\MV11A2\Proyectadas\DatosTS\Transpuestas')
13 df_results1 = pd.DataFrame()
14 for f in glob.glob('*DIA_H10_V00*.xlsx'):
15     nombre = f
16     k = nombre[:13]
17     file = pd.read_excel(f, index_col=0)
18     print(k)
19     df1 = pd.DataFrame(file)
20     #print(df)
21     df_results1 = df_results1.append(df1)
22     #print(df_results2)
23     transp1 = df_results1.transpose()
for f in glob.glob('*DIA_H10_V0...

```

Figura 24

Tablas en excel con información en una sola columna

Trans_Grupo1_Noche.xlsx	9/07/2020 2:44 p. m.	Hoja de cálculo d...	160 KB
Trans_Grupo2_Noche.xlsx	9/07/2020 2:44 p. m.	Hoja de cálculo d...	460 KB
Trans_Grupo3_Noche.xlsx	9/07/2020 2:45 p. m.	Hoja de cálculo d...	666 KB
Trans_Grupo4_Noche.xlsx	9/07/2020 2:46 p. m.	Hoja de cálculo d...	775 KB
Trans_Grupo5_Noche.xlsx	9/07/2020 2:47 p. m.	Hoja de cálculo d...	889 KB
Trans_Grupo6_Noche.xlsx	9/07/2020 2:48 p. m.	Hoja de cálculo d...	1.023 KB
TranspGrupo1_Dia.xlsx	9/07/2020 2:35 p. m.	Hoja de cálculo d...	313 KB
TranspGrupo2_Dia.xlsx	9/07/2020 2:36 p. m.	Hoja de cálculo d...	764 KB
TranspGrupo3_Dia.xlsx	9/07/2020 2:38 p. m.	Hoja de cálculo d...	1.199 KB
TranspGrupo4_Dia.xlsx	9/07/2020 2:39 p. m.	Hoja de cálculo d...	1.418 KB
TranspGrupo5_Dia.xlsx	9/07/2020 2:41 p. m.	Hoja de cálculo d...	1.667 KB
TranspGrupo6_Dia.xlsx	9/07/2020 2:44 p. m.	Hoja de cálculo d...	1.940 KB

Compleción de celdas

Para completar las celdas fue necesario configurar el script de Python llamado CeldasCompletar.py en PyCharm (Echeverri, 2019) (Figura 25), cuyo resultado fue la

creación de 12 archivos Excel (2 por cada grupo, 6 para el día y 6 para la noche) con la información de la temperatura por punto, la fecha, el estado del pixel y el grupo correspondiente (Figura 26).

Figura 25

Script para completar celdas

```

1 type(Sheet)
2 fila = sheet.max_row + 1
3 print(fila)
4 for i in range(2, fila+1):
5     eti = sheet['A'+str(i)].value
6     if sheet.cell(row=i, column=1).value is None:
7         sheet['D'+str(i)].value = sheet['D'+str(i-1)].value
8         grupo = sheet.cell(row=i-1, column=5, value=str(g))
9     else:
10        sheet['D'+str(i)].value = eti
11
12 sheet['A1'].value = str('PixelEstado')
13 sheet['C1'].value = str('Variable')
14 sheet['D1'].value = str('PixelEstado')
15
16 for archivo in glob.glob("*.Noche..."):
17     # ...
18
19 # ...
20
21 # ...
22
23 # ...
24
25 # ...
26
27 # ...
28
29 # ...
30
31 # ...
32
33 # ...
34
35 # ...
36
37 # ...
38
39 # ...
40
41 # ...
42
43 # ...
44
45 # ...
46
47 # ...
48
49 # ...
50
51 # ...
52
53 # ...
54
55 # ...
56
57 # ...
58
59 # ...
60
61 # ...
62
63 # ...
64
65 # ...
66
67 # ...
68
69 # ...
70
71 # ...
72
73 # ...
74
75 # ...
76
77 # ...
78
79 # ...
80
81 # ...
82
83 # ...
84
85 # ...
86
87 # ...
88
89 # ...
90
91 # ...
92
93 # ...
94
95 # ...
96
97 # ...
98
99 # ...
100
101 # ...
102
103 # ...
104
105 # ...
106
107 # ...
108
109 # ...
110
111 # ...
112
113 # ...
114
115 # ...
116
117 # ...
118
119 # ...
120
121 # ...
122
123 # ...
124
125 # ...
126
127 # ...
128
129 # ...
130
131 # ...
132
133 # ...
134
135 # ...
136
137 # ...
138
139 # ...
140
141 # ...
142
143 # ...
144
145 # ...
146
147 # ...
148
149 # ...
150
151 # ...
152
153 # ...
154
155 # ...
156
157 # ...
158
159 # ...
160
161 # ...
162
163 # ...
164
165 # ...
166
167 # ...
168
169 # ...
170
171 # ...
172
173 # ...
174
175 # ...
176
177 # ...
178
179 # ...
180
181 # ...
182
183 # ...
184
185 # ...
186
187 # ...
188
189 # ...
190
191 # ...
192
193 # ...
194
195 # ...
196
197 # ...
198
199 # ...
200
201 # ...
202
203 # ...
204
205 # ...
206
207 # ...
208
209 # ...
210
211 # ...
212
213 # ...
214
215 # ...
216
217 # ...
218
219 # ...
220
221 # ...
222
223 # ...
224
225 # ...
226
227 # ...
228
229 # ...
230
231 # ...
232
233 # ...
234
235 # ...
236
237 # ...
238
239 # ...
240
241 # ...
242
243 # ...
244
245 # ...
246
247 # ...
248
249 # ...
250
251 # ...
252
253 # ...
254
255 # ...
256
257 # ...
258
259 # ...
260
261 # ...
262
263 # ...
264
265 # ...
266
267 # ...
268
269 # ...
270
271 # ...
272
273 # ...
274
275 # ...
276
277 # ...
278
279 # ...
280
281 # ...
282
283 # ...
284
285 # ...
286
287 # ...
288
289 # ...
290
291 # ...
292
293 # ...
294
295 # ...
296
297 # ...
298
299 # ...
300
301 # ...
302
303 # ...
304
305 # ...
306
307 # ...
308
309 # ...
310
311 # ...
312
313 # ...
314
315 # ...
316
317 # ...
318
319 # ...
320
321 # ...
322
323 # ...
324
325 # ...
326
327 # ...
328
329 # ...
330
331 # ...
332
333 # ...
334
335 # ...
336
337 # ...
338
339 # ...
340
341 # ...
342
343 # ...
344
345 # ...
346
347 # ...
348
349 # ...
350
351 # ...
352
353 # ...
354
355 # ...
356
357 # ...
358
359 # ...
360
361 # ...
362
363 # ...
364
365 # ...
366
367 # ...
368
369 # ...
370
371 # ...
372
373 # ...
374
375 # ...
376
377 # ...
378
379 # ...
380
381 # ...
382
383 # ...
384
385 # ...
386
387 # ...
388
389 # ...
390
391 # ...
392
393 # ...
394
395 # ...
396
397 # ...
398
399 # ...
400
401 # ...
402
403 # ...
404
405 # ...
406
407 # ...
408
409 # ...
410
411 # ...
412
413 # ...
414
415 # ...
416
417 # ...
418
419 # ...
420
421 # ...
422
423 # ...
424
425 # ...
426
427 # ...
428
429 # ...
430
431 # ...
432
433 # ...
434
435 # ...
436
437 # ...
438
439 # ...
440
441 # ...
442
443 # ...
444
445 # ...
446
447 # ...
448
449 # ...
450
451 # ...
452
453 # ...
454
455 # ...
456
457 # ...
458
459 # ...
460
461 # ...
462
463 # ...
464
465 # ...
466
467 # ...
468
469 # ...
470
471 # ...
472
473 # ...
474
475 # ...
476
477 # ...
478
479 # ...
480
481 # ...
482
483 # ...
484
485 # ...
486
487 # ...
488
489 # ...
490
491 # ...
492
493 # ...
494
495 # ...
496
497 # ...
498
499 # ...
500
501 # ...
502
503 # ...
504
505 # ...
506
507 # ...
508
509 # ...
510
511 # ...
512
513 # ...
514
515 # ...
516
517 # ...
518
519 # ...
520
521 # ...
522
523 # ...
524
525 # ...
526
527 # ...
528
529 # ...
530
531 # ...
532
533 # ...
534
535 # ...
536
537 # ...
538
539 # ...
540
541 # ...
542
543 # ...
544
545 # ...
546
547 # ...
548
549 # ...
550
551 # ...
552
553 # ...
554
555 # ...
556
557 # ...
558
559 # ...
560
561 # ...
562
563 # ...
564
565 # ...
566
567 # ...
568
569 # ...
570
571 # ...
572
573 # ...
574
575 # ...
576
577 # ...
578
579 # ...
580
581 # ...
582
583 # ...
584
585 # ...
586
587 # ...
588
589 # ...
590
591 # ...
592
593 # ...
594
595 # ...
596
597 # ...
598
599 # ...
600
601 # ...
602
603 # ...
604
605 # ...
606
607 # ...
608
609 # ...
610
611 # ...
612
613 # ...
614
615 # ...
616
617 # ...
618
619 # ...
620
621 # ...
622
623 # ...
624
625 # ...
626
627 # ...
628
629 # ...
630
631 # ...
632
633 # ...
634
635 # ...
636
637 # ...
638
639 # ...
640
641 # ...
642
643 # ...
644
645 # ...
646
647 # ...
648
649 # ...
650
651 # ...
652
653 # ...
654
655 # ...
656
657 # ...
658
659 # ...
660
661 # ...
662
663 # ...
664
665 # ...
666
667 # ...
668
669 # ...
670
671 # ...
672
673 # ...
674
675 # ...
676
677 # ...
678
679 # ...
680
681 # ...
682
683 # ...
684
685 # ...
686
687 # ...
688
689 # ...
690
691 # ...
692
693 # ...
694
695 # ...
696
697 # ...
698
699 # ...
700
701 # ...
702
703 # ...
704
705 # ...
706
707 # ...
708
709 # ...
710
711 # ...
712
713 # ...
714
715 # ...
716
717 # ...
718
719 # ...
720
721 # ...
722
723 # ...
724
725 # ...
726
727 # ...
728
729 # ...
730
731 # ...
732
733 # ...
734
735 # ...
736
737 # ...
738
739 # ...
740
741 # ...
742
743 # ...
744
745 # ...
746
747 # ...
748
749 # ...
750
751 # ...
752
753 # ...
754
755 # ...
756
757 # ...
758
759 # ...
760
761 # ...
762
763 # ...
764
765 # ...
766
767 # ...
768
769 # ...
770
771 # ...
772
773 # ...
774
775 # ...
776
777 # ...
778
779 # ...
780
781 # ...
782
783 # ...
784
785 # ...
786
787 # ...
788
789 # ...
790
791 # ...
792
793 # ...
794
795 # ...
796
797 # ...
798
799 # ...
800
801 # ...
802
803 # ...
804
805 # ...
806
807 # ...
808
809 # ...
810
811 # ...
812
813 # ...
814
815 # ...
816
817 # ...
818
819 # ...
820
821 # ...
822
823 # ...
824
825 # ...
826
827 # ...
828
829 # ...
830
831 # ...
832
833 # ...
834
835 # ...
836
837 # ...
838
839 # ...
840
841 # ...
842
843 # ...
844
845 # ...
846
847 # ...
848
849 # ...
850
851 # ...
852
853 # ...
854
855 # ...
856
857 # ...
858
859 # ...
860
861 # ...
862
863 # ...
864
865 # ...
866
867 # ...
868
869 # ...
870
871 # ...
872
873 # ...
874
875 # ...
876
877 # ...
878
879 # ...
880
881 # ...
882
883 # ...
884
885 # ...
886
887 # ...
888
889 # ...
890
891 # ...
892
893 # ...
894
895 # ...
896
897 # ...
898
899 # ...
900
901 # ...
902
903 # ...
904
905 # ...
906
907 # ...
908
909 # ...
910
911 # ...
912
913 # ...
914
915 # ...
916
917 # ...
918
919 # ...
920
921 # ...
922
923 # ...
924
925 # ...
926
927 # ...
928
929 # ...
930
931 # ...
932
933 # ...
934
935 # ...
936
937 # ...
938
939 # ...
940
941 # ...
942
943 # ...
944
945 # ...
946
947 # ...
948
949 # ...
950
951 # ...
952
953 # ...
954
955 # ...
956
957 # ...
958
959 # ...
960
961 # ...
962
963 # ...
964
965 # ...
966
967 # ...
968
969 # ...
970
971 # ...
972
973 # ...
974
975 # ...
976
977 # ...
978
979 # ...
980
981 # ...
982
983 # ...
984
985 # ...
986
987 # ...
988
989 # ...
990
991 # ...
992
993 # ...
994
995 # ...
996
997 # ...
998
999 # ...
1000

```

Figura 26

Tablas en Excel con celdas completas

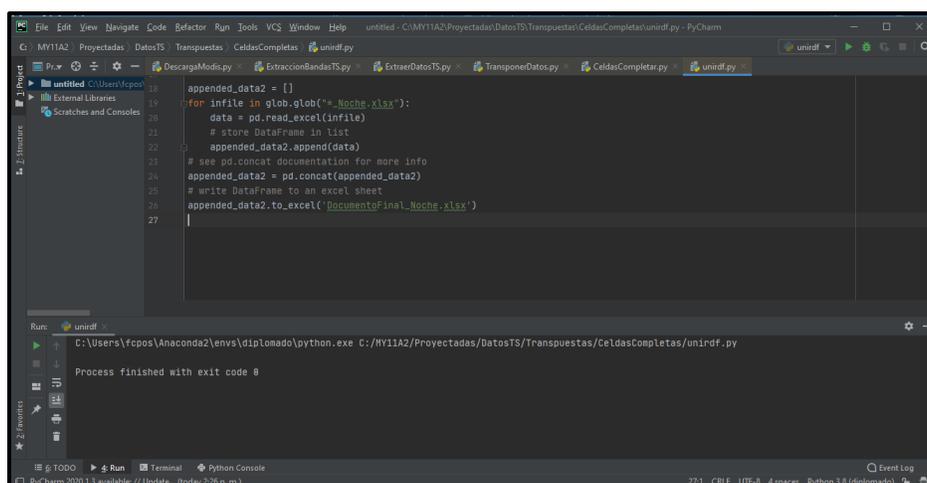
Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
Columna_Grupo1_Noche.xlsx	9/07/2020 3:16 p. m.	Hoja de cálculo d...	224 KB
Columna_Grupo2_Noche.xlsx	9/07/2020 3:16 p. m.	Hoja de cálculo d...	646 KB
Columna_Grupo3_Noche.xlsx	9/07/2020 3:17 p. m.	Hoja de cálculo d...	937 KB
Columna_Grupo4_Noche.xlsx	9/07/2020 3:18 p. m.	Hoja de cálculo d...	1.089 KB
Columna_Grupo5_Noche.xlsx	9/07/2020 3:19 p. m.	Hoja de cálculo d...	1.250 KB
Columna_Grupo6_Noche.xlsx	9/07/2020 3:21 p. m.	Hoja de cálculo d...	1.437 KB
ColumnaGrupo1_Dia.xlsx	9/07/2020 3:21 p. m.	Hoja de cálculo d...	438 KB
ColumnaGrupo2_Dia.xlsx	9/07/2020 3:22 p. m.	Hoja de cálculo d...	1.069 KB
ColumnaGrupo3_Dia.xlsx	9/07/2020 3:23 p. m.	Hoja de cálculo d...	1.678 KB
ColumnaGrupo4_Dia.xlsx	9/07/2020 3:25 p. m.	Hoja de cálculo d...	1.982 KB
ColumnaGrupo5_Dia.xlsx	9/07/2020 3:27 p. m.	Hoja de cálculo d...	2.331 KB
ColumnaGrupo6_Dia.xlsx	9/07/2020 3:29 p. m.	Hoja de cálculo d...	2.703 KB

Unificación de la información

Para completar las celdas fue necesario correr el script de Python llamado unirdf.py PyCharm (Echeverri, 2019) (Figura 27), cuyo resultado fue la creación de 2 archivos Excel (1 por día y 1 por noche) con la información de la fecha, la temperatura por punto, el estado del pixel y el grupo correspondiente (Figura 28).

Figura 27

Script para unificar información



```

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

```

Run unirdf
 C:\Users\fcpos\Anaconda2\envs\diplomado\python.exe C:/Mv11A2/Proyectadas/DatosTS/Transpuestas/CeldasCompletas/unirdf.py
 Process finished with exit code 0

Figura 28

Tablas en Excel con información unificada

	A	B	C	D	E	F
1		PixelEstad	Fecha	Variable	PixelEstado	Grupo
2	0	T0	2003-01-01	19,11	T0	_Grupo1
3	1		2003-01-01	18,25	T0	_Grupo1
4	2		2003-01-11	20,17	T0	_Grupo1
5	3		2003-01-21	20,73	T0	_Grupo1
6	4		2003-02-01	19,49	T0	_Grupo1
7	5		2003-02-11	18,99	T0	_Grupo1
8	6		2003-02-11	22,61	T0	_Grupo1
9	7		2003-03-01	21,85	T0	_Grupo1
10	8		2003-03-31	21,59	T0	_Grupo1
11	9		2003-06-01	19,29	T0	_Grupo1
12	10		2003-06-21	19,25	T0	_Grupo1
13	11		2003-08-01	21,43	T0	_Grupo1
14	12		2003-08-21	20,27	T0	_Grupo1

Procesamiento estadístico

Una vez obtenidos los datos tanto para el día como para la noche, se procedió a editar las tablas de forma que la información de la fecha quedara separada por año, mes y día, y adicional a esto, también se separó el estado (cobertura) del número de pixel, esto con el fin de facilitar los análisis realizados posteriormente (Figura 29).

Figura 29

Tabla en Excel con datos separados y organizados

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Año	Mes	Día	T\$	Pixel	Estado	Grupo	
2	2003	Enero	1	34,43	0	T	Grupo1	
3	2003	Enero	9	34,55	0	T	Grupo1	
4	2003	Enero	17	37,95	0	T	Grupo1	
5	2003	Enero	25	34,11	0	T	Grupo1	
6	2003	Febrero	2	19,49	0	T	Grupo1	
7	2003	Febrero	10	39,53	0	T	Grupo1	
8	2003	Febrero	18	40,05	0	T	Grupo1	
9	2003	Marzo	6	21,85	0	T	Grupo1	
10	2003	Marzo	30	21,59	0	T	Grupo1	
11	2003	Mayo	1	28,09	0	T	Grupo1	
12	2003	Junio	2	19,29	0	T	Grupo1	
13	2003	Junio	18	26,97	0	T	Grupo1	
14	2003	Junio	26	30,09	0	T	Grupo1	
15	2003	Julio	4	30,17	0	T	Grupo1	
16	2003	Agosto	5	32,31	0	T	Grupo1	
17	2003	Agosto	21	20,27	0	T	Grupo1	
18	2003	Agosto	29	30,87	0	T	Grupo1	
19	2003	Septiembre	6	23,79	0	T	Grupo1	
20	2003	Septiembre	30	31,97	0	T	Grupo1	
21	2003	Octubre	8	20,77	0	T	Grupo1	
22	2003	Octubre	16	31,23	0	T	Grupo1	
23	2003	Noviembre	1	19,83	0	T	Grupo1	

Luego se procedió a cargar cada una de las tablas en el software estadístico InfoStat – versión No. 24 (Di Rienzo et al., 2011) (Figura 30).

Figura 30

Información cargada en InfoStat

Caso	Año	Mes	Día	TS	Pixel	Estado	Grupo
1	2003	Enero	1	34,43	0	T	Grupo1
2	2003	Enero	9	34,55	0	T	Grupo1
3	2003	Enero	17	37,95	0	T	Grupo1
4	2003	Enero	25	34,11	0	T	Grupo1
5	2003	Febrero	2	19,49	0	T	Grupo1
6	2003	Febrero	10	39,53	0	T	Grupo1
7	2003	Febrero	18	40,05	0	T	Grupo1
8	2003	Marzo	6	21,85	0	T	Grupo1
9	2003	Marzo	30	21,59	0	T	Grupo1
10	2003	Mayo	1	28,09	0	T	Grupo1
11	2003	Junio	2	19,29	0	T	Grupo1
12	2003	Junio	18	26,97	0	T	Grupo1
13	2003	Junio	26	30,09	0	T	Grupo1
14	2003	Julio	4	30,17	0	T	Grupo1
15	2003	Agosto	5	32,31	0	T	Grupo1
16	2003	Agosto	21	20,27	0	T	Grupo1
17	2003	Agosto	29	30,87	0	T	Grupo1
18	2003	Septiembre	6	23,79	0	T	Grupo1
19	2003	Septiembre	30	31,97	0	T	Grupo1
20	2003	Octubre	8	20,77	0	T	Grupo1
21	2003	Octubre	16	31,23	0	T	Grupo1
22	2003	Noviembre	1	19,83	0	T	Grupo1
23	2003	Noviembre	9	29,09	0	T	Grupo1

Real Registros: 1101197 n=1 Suma=2003 Media=2003,0 D.E.=0 Min=2003 Max=2003 P05=2003 P95=2003

Un vez cargada cada tabla, se procedió a obtener las medidas estadísticas básicas de resumen, que para este estudio fueron: la cantidad de datos, la media, la desviación estándar, y los valores mínimos y máximos (Figura 31). En este caso, la variable siempre es la temperatura de superficie, y los criterios de clasificación pueden ser el estado o cobertura, los grupos, los meses y los años principalmente (Figura 32).

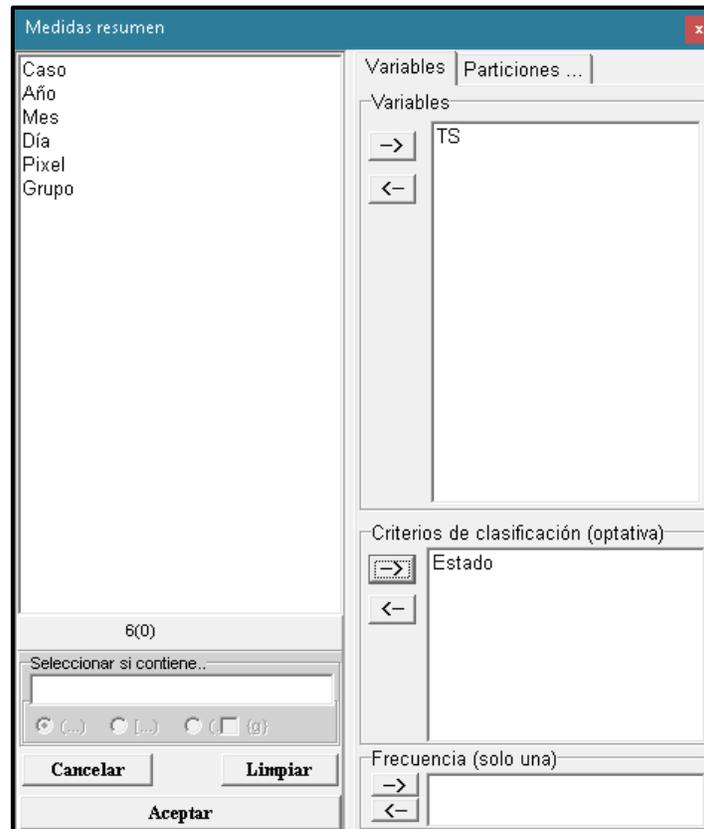
Figura 31

Estadísticas básicas sin particiones

Medidas resumen					
Estado	Variable	n	Media	D.E.	Mín Máx
C	TS	71605	27,48	3,93	1,99 46,21
T	TS	38508	29,94	4,43	5,59 50,25

Figura 32

Definición de variable y criterio de clasificación de estadísticas básicas



De igual manera, se procedió a obtener nuevamente las medidas estadísticas básicas, pero esta vez con particiones (Figura 33), de forma que el resultado se puede analizar con mayor detalle (Figura 34).

Figura 33

Definición de variable, criterio de clasificación y particiones para estadísticas básicas

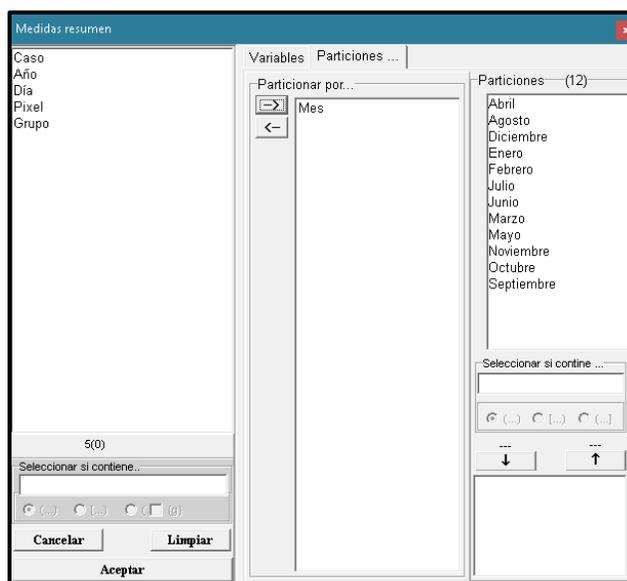


Figura 34

Estadísticas básicas con particiones (meses)

Medidas resumen							
Mes	Estado	Variable	n	Media	D.E.	Min	Máx
Abril	C	TS	4150	27,31	3,95	8,71	37,93
Abril	T	TS	2004	29,60	4,01	8,71	42,27
Agosto	C	TS	6463	27,06	3,55	7,47	35,57
Agosto	T	TS	3597	29,50	3,52	7,63	37,49
Diciembre	C	TS	6809	27,36	3,15	10,41	40,01
Diciembre	T	TS	3839	29,82	3,58	7,69	39,83
Enero	C	TS	6909	28,80	3,80	11,15	39,75
Enero	T	TS	3842	31,70	4,88	10,57	44,45
Febrero	C	TS	6305	29,98	4,35	8,05	43,95
Febrero	T	TS	3285	33,22	5,98	9,81	50,25
Julio	C	TS	6095	25,43	3,83	5,91	42,69
Julio	T	TS	3288	27,65	3,59	5,59	36,75

Posteriormente, para realizar los análisis de diferencias significativas se utilizó la herramienta del cálculo de varianza no paramétrica de Kruskal Wallis sin particiones y con comparaciones de a pares teniendo en cuenta el tamaño muestral (N), la desviación estándar, la media, la mediana, el estadístico de la prueba (H) y el valor p asociado (p)

(Figura 35) (Balzarini et al, 2008). Al igual que en las medidas estadísticas básicas, la variable siempre es la temperatura de superficie, y los criterios de clasificación pueden ser el estado o cobertura, los grupos, los meses y los años (Figura 36).

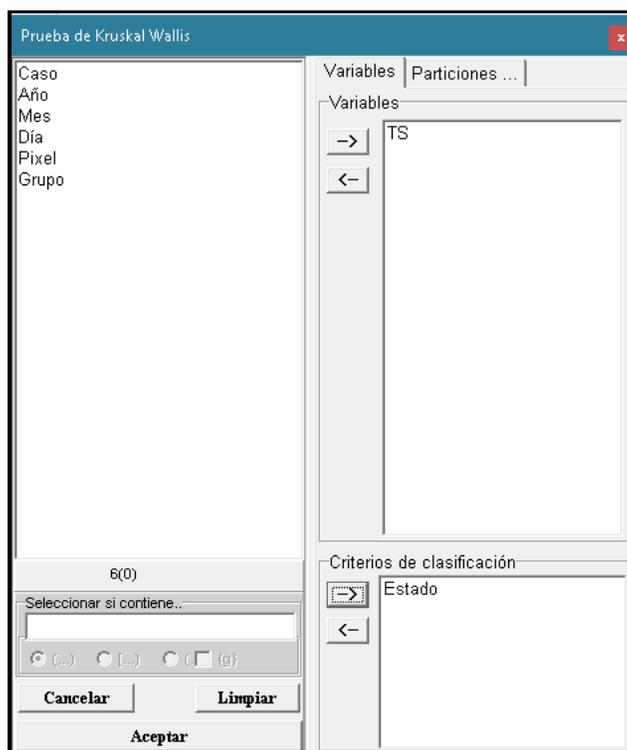
Figura 35

Prueba de Kruskal Wallis sin particiones

Prueba de Kruskal Wallis							
Variable	Estado	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
TS	C	71605	27,48	3,93	28,07	-5765515,72	>0,9999
TS	T	38508	29,94	4,43	30,21		

Figura 36

Definición de variable y criterio de clasificación para prueba de Kruskal Wallis sin particiones



Finalmente, se procedió a realizar nuevamente el cálculo de varianza no paramétrica de Kruskal Wallis, pero esta vez con particiones y con comparaciones de a pares (Figura 37), de forma que el resultado muestre si hay o no diferencias significativas entre coberturas teniendo en cuenta las particiones definidas previamente (Figura 38).

Figura 37

Definición de variable, criterio de clasificación y particiones para prueba de Kruskal Wallis

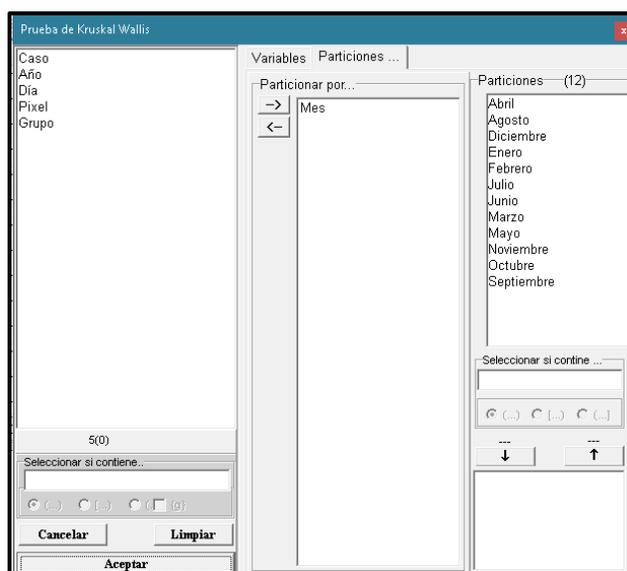


Figura 38

Prueba de Kruskal Wallis con particiones(meses)

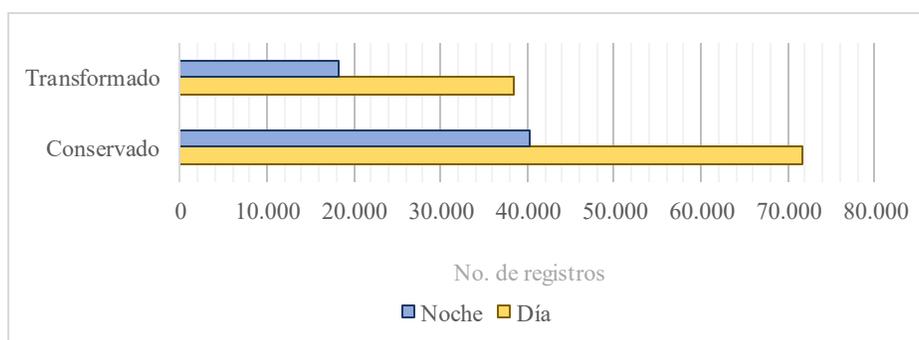
Prueba de Kruskal Wallis								
Mes	Variable	Estado	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Abril	TS	C	4150	27,31	3,95	28,37	630,14	<0,0001
Abril	TS	T	2004	29,60	4,01	30,43		
Trat.		Ranks						
C		2682,44	A					
T		3895,62	B					
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)								

Resultados y discusión

Entre 2003 y 2019 el sensor MODIS capturó un total de 168.659 registros de Ts de acuerdo a los puntos seleccionados dentro de los 6 grupos de análisis establecidos previamente dentro del área de estudio. De esos registros, el 65.31% corresponden al día y el 34.79% corresponden a la noche; adicional a esto, 111.768 pertenecen a la cobertura conservada (C) y 56.881 pertenecen a la cobertura transformada (T), es decir que la cantidad de registros de la cobertura C es casi el doble de la cobertura T (Figura 39).

Figura 39

Registros por cobertura según jornada

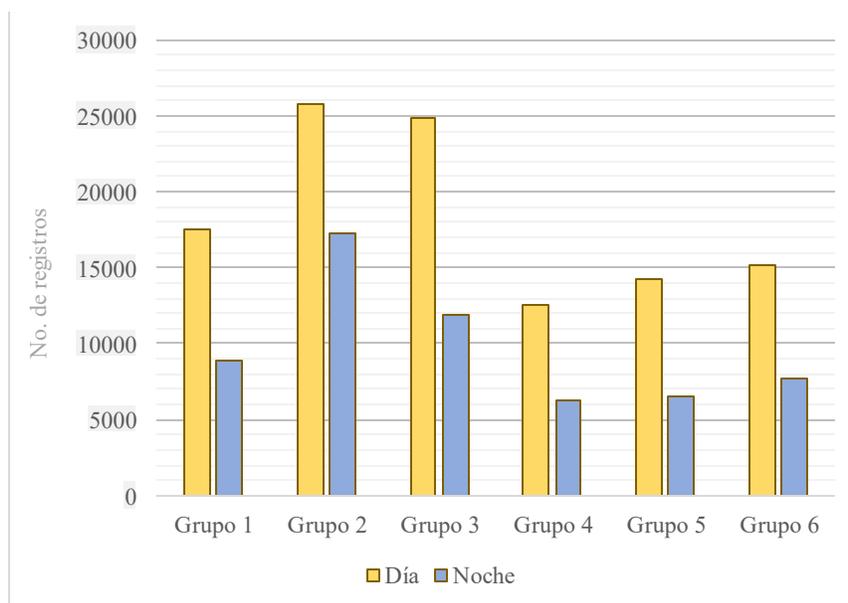


El número de registros por grupo es muy variable teniendo en cuenta que cada uno de ellos tenía una cantidad de puntos diferente: Los grupos 4 y 5 tienen 20 puntos cada uno, y los grupos 1, 2, 3 y 6 tienen 28, 39, 36 y 22 respectivamente. Estos datos coinciden con los registros por grupo tanto para el día como para la noche, ya que el grupo 2 siendo el de mayor cantidad de puntos, también es el que mayor número de registros tiene, y los

grupos 4 y 5 teniendo una menor cantidad de puntos, también son los grupos con menos registros (Figura 40).

Figura 40

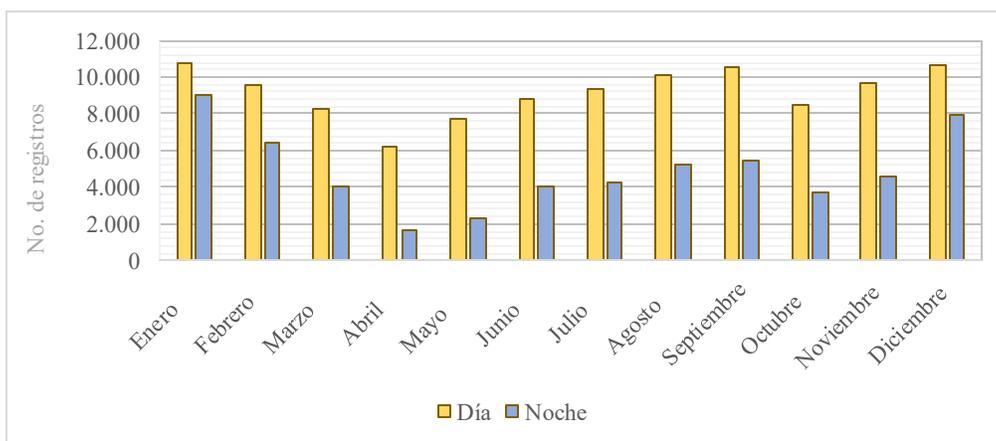
Registros por grupo según jornada



Por otro lado, enero es el mes que cuenta con la mayor cantidad de registros ya que tiene un total de 19.793, además presenta una menor variación entre la cantidad de registros del día y de la noche; por otro lado, abril es el mes con menor número de registros dado que tiene un total de 7.762, es decir el 4.6% del total (Figura 41).

Figura 41

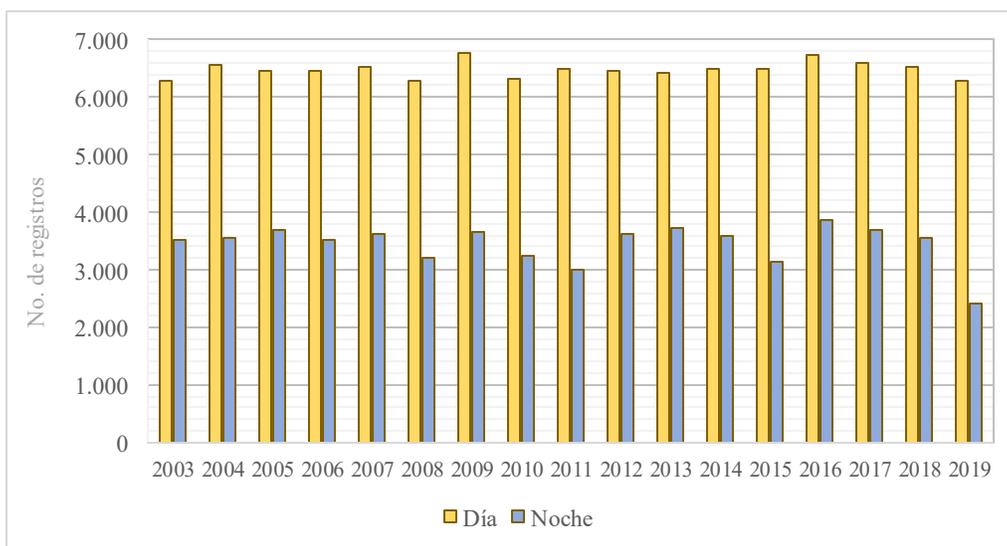
Registros por mes según jornada



Además, el promedio de registros por año es de 9.921, siendo 2016 el año con mayor cantidad (10.585) y 2019 el año con menor cantidad (8.708), Así mismo, la mayor diferencia entre registros diurnos y nocturnos también se dio en 2019 mientras que en 2013 se presentó la menor diferencia, y 2009 es el año con más datos en el día y 2016 es el año con más datos en la noche (Figura 42).

Figura 42

Registros por año según jornada

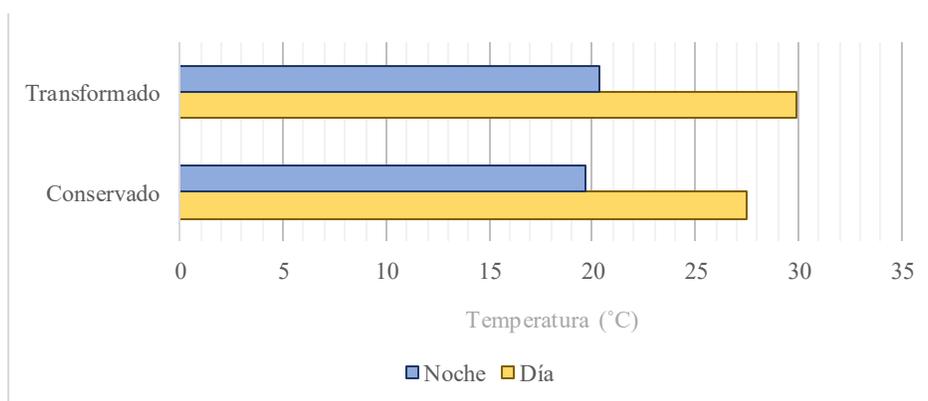


Análisis de los valores medios de temperatura de superficie por cobertura y jornada

Teniendo en cuenta los valores medios de T_s por cobertura, para el día se halló una diferencia de $2.46\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre la cobertura T y la cobertura C, mientras que para la noche la variación entre los valores medios de T_s de la cobertura T y la C fue de $0.74\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 43).

Figura 43

Valores medios de temperatura de superficie por cobertura según jornada



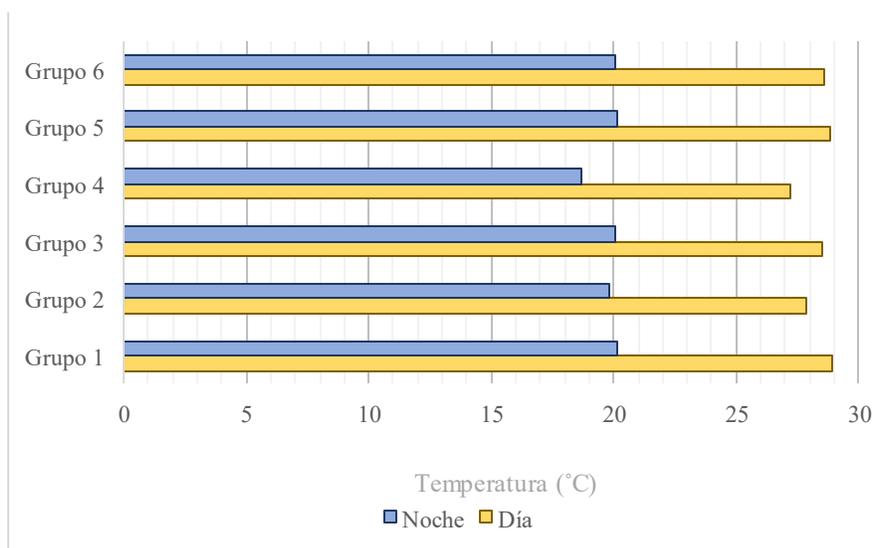
Se observó que la cobertura T presenta un enfriamiento más acelerado que la cobertura C. Adicional a lo anterior, los valores de T_s de la cobertura T son superiores a los de la cobertura C en ambas jornadas, lo que coincide con lo mencionado por Carvajal y Pabón (2014), en donde sustentan que las áreas con coberturas C presentan valores de T_s más bajos en comparación a otro tipo de coberturas como la urbana, teniendo en cuenta que la vegetación reduce la cantidad de calor almacenado en el suelo, como lo afirma Wilson et al. (2003), quienes establecen que el tamaño y la forma del objeto, inciden en la conducción del calor.

Análisis de los valores medios de temperatura de superficie por grupo y jornada

A partir de los valores medios de T_s por grupo, para el día se halló que están entre $27.25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $28.91\text{ }^{\circ}\text{C}$, es decir que hay un rango de variación de $1.66\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que en la noche, los valores medios de la T_s varían entre $18.69\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $20.15\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que indica que hay un rango de variación de $1.46\text{ }^{\circ}\text{C}$. Adicional a esto, se encontró que el grupo 1 presenta los valores medios de T_s más altos tanto para el día como para la noche, mientras que el grupo 4 presenta los valores más bajos para las dos jornadas (Figura 44). Esto puede deberse a que los puntos del grupo 4 tienen una diferencia de 756 m en altitud porque están ubicados entre el valle aluvial y el macizo montañoso, mientras que los puntos de los demás grupos, tienen un rango de diferencia de elevación entre 16 m y 49 m dado que están ubicados en la planicie inundable del río Guayabero, que es la zona más baja del parque (Zárate et al., 2018).

Figura 44

Valores medios de temperatura de superficie por grupo según jornada

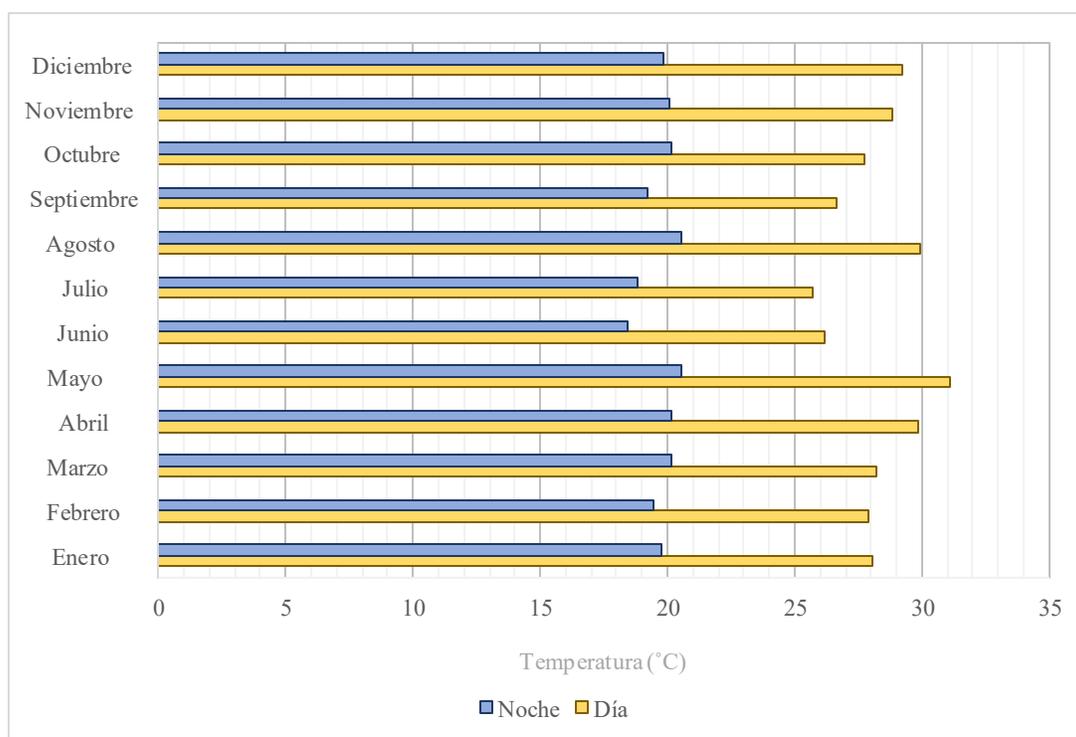


Análisis de los valores medios de temperatura de superficie por meses y jornada

Teniendo en cuenta los valores medios de Ts por meses, para el día se halló que el más bajo se presentó en julio con 25.72 °C y el más alto se presentó en mayo con 31.09 °C, es decir que hay un rango de variación de 5.37 °C, mientras que, en la noche el valor medio de Ts más bajo se presentó en julio con 18.83 °C y el más alto se presentó en agosto con 20.57 °C, es decir que hay un rango de 1.74 °C de variación. Del mismo modo, se observó que la Ts media presenta dos picos máximos en mayo y agosto que son más evidentes en el día (Figura 45).

Figura 45

Valores medios de temperatura de superficie por mes según jornada

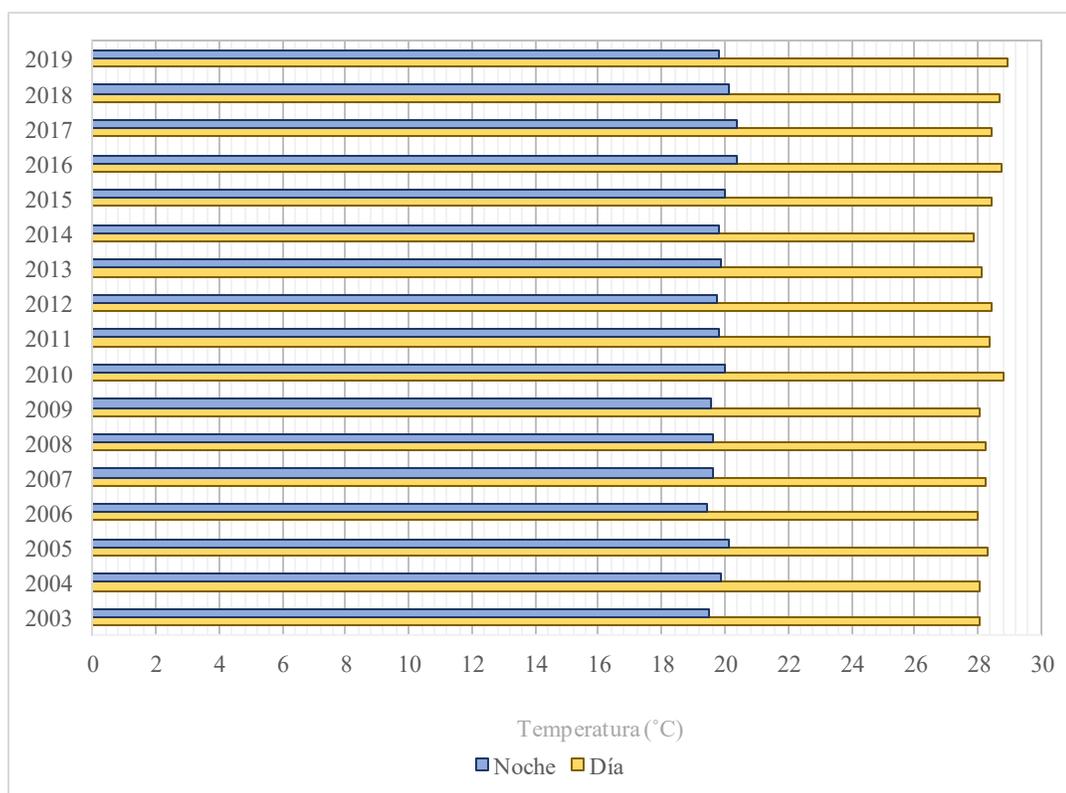


Análisis de los valores medios de temperatura de superficie por año y jornada

A partir de los valores medios de T_s por año, para el día se halló que desde 2003 hasta 2019 todos estuvieron sobre los $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ con excepción de 2014, donde el promedio fue de $27.87\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que para la noche los valores medios estuvieron entre $19.48\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $20.4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por otro lado, en el día, los valores medios más altos estuvieron sobre $28.75\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se dieron en 2019, 2016 y 2010; años en los que se presentó Fenómeno del Niño (NOAA, 2020), lo cual pudo influir en ese comportamiento; y para la noche, 2016, 2017 y 2018 presentaron valores sobre $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, es decir, tuvieron los valores medios más altos (Figura 46).

Figura 46

Valores medios de temperatura de superficie por año según jornada

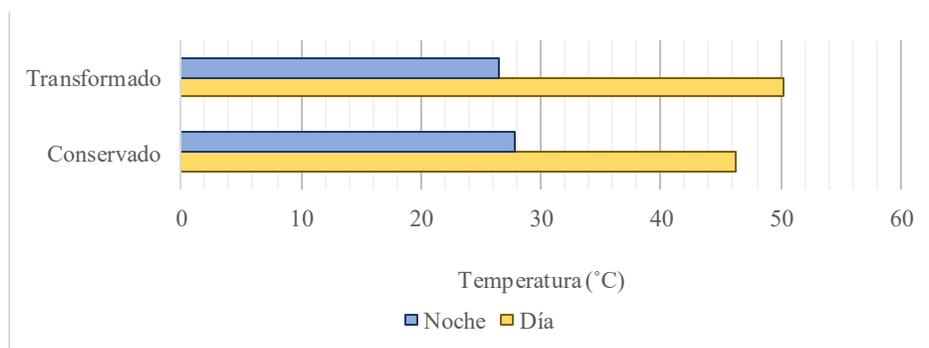


Análisis de los valores máximos de temperatura de superficie por cobertura y jornada

A partir de los valores máximos de T_s por cobertura, en el día se encontró que el valor más alto se presentó en la cobertura T mientras que en la noche el valor más alto se presentó en la cobertura C. También, se observó que el rango de variación de los valores máximos de T_s entre las dos coberturas en el día es de $4.04\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que en la noche es de $1.32\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 47).

Figura 47

Valores máximos de temperatura de superficie por cobertura según jornada

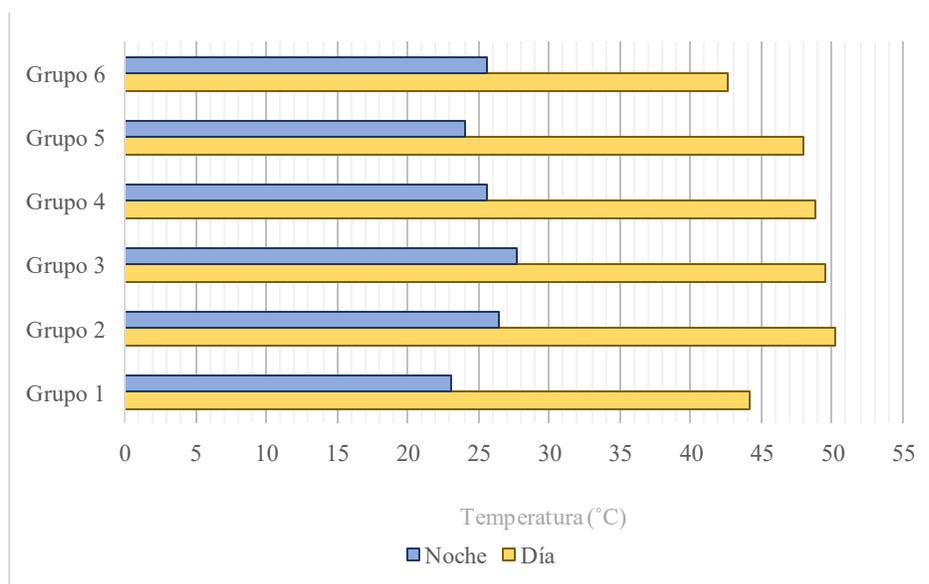


Análisis de los valores máximos de temperatura de superficie por grupo y jornada

Teniendo en cuenta los valores máximos de T_s por grupo, en el día se encontró que el valor más alto se presentó en el grupo 2 y el valor más bajo en el grupo 6, con un rango de variación de $7.56\text{ }^{\circ}\text{C}$; mientras que en la noche el valor más alto se presentó en el grupo 3 y el valor más bajo en el grupo 1, con un rango de variación de $4.68\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 48).

Figura 48

Valores máximos de temperatura de superficie por grupo según jornada

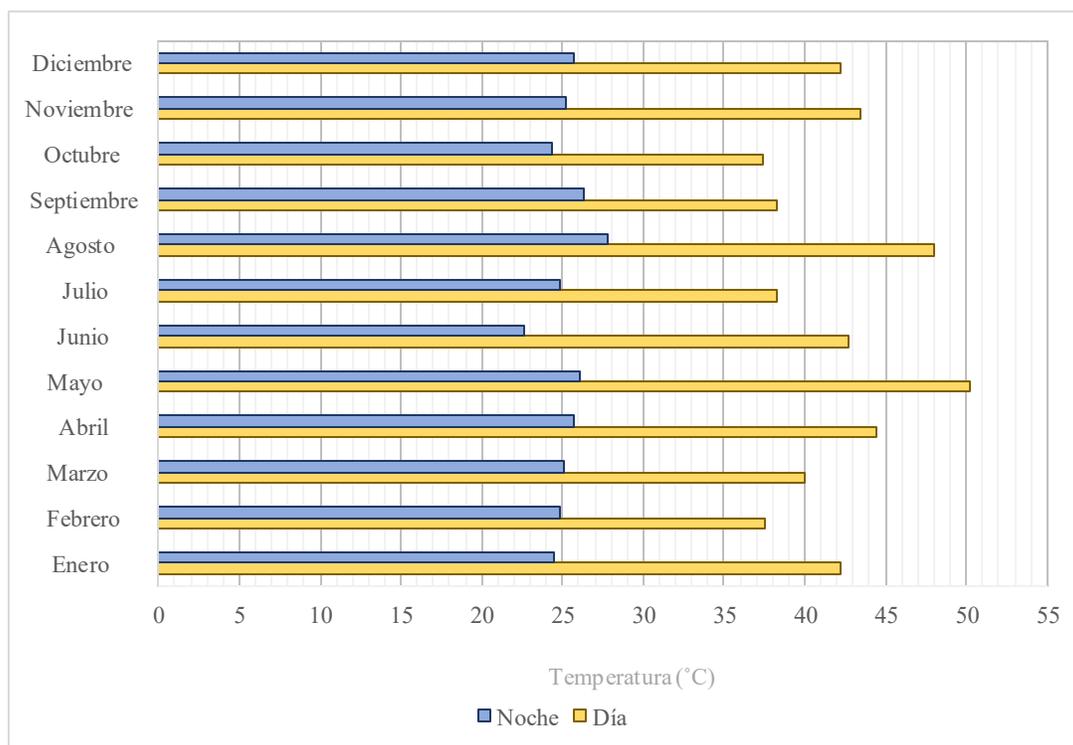


Análisis de los valores máximos de temperatura de superficie por mes y jornada

A partir de los valores máximos de T_s por mes, en el día se encontró un rango de variación de $12.84\text{ }^{\circ}\text{C}$, donde mayo es el mes con el valor más alto ($50.24\text{ }^{\circ}\text{C}$) y octubre es el mes con menor valor más bajo ($37.41\text{ }^{\circ}\text{C}$), mientras que en la noche el rango de variación es de $5.12\text{ }^{\circ}\text{C}$ donde agosto presenta el valor más alto ($27.79\text{ }^{\circ}\text{C}$) y junio presenta el valor más bajo ($22.67\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Figura 49).

Figura 49

Valores máximos de temperatura de superficie por mes según jornada

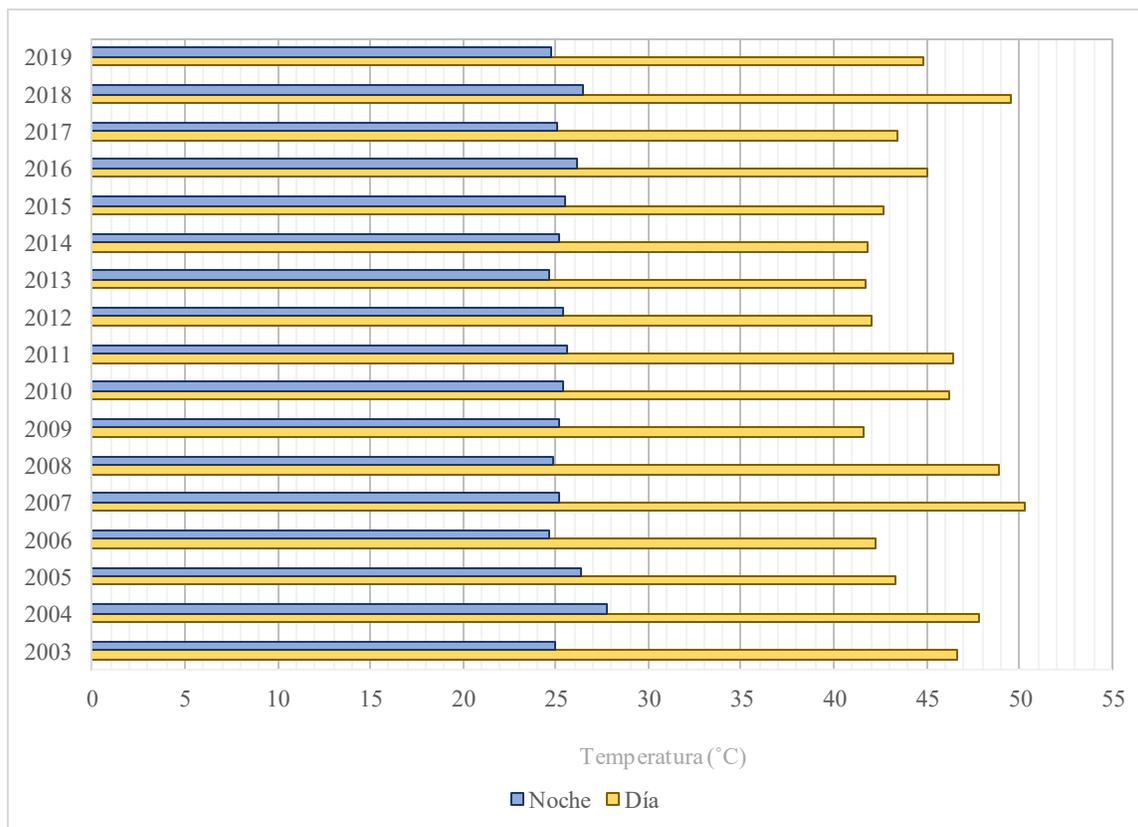


Análisis de los valores máximos de temperatura de superficie por año y jornada

Teniendo en cuenta los valores máximos de T_s por años, se encontró que en el día los valores fueron mucho más variables que en la noche, ya que van desde 41.59 °C en 2009 hasta 50.25 °C en 2007, mientras que, en la noche, el rango es mucho menor ya que 2013 fue el año con el valor más bajo (24.61 °C) y 2005 el año con el valor más alto (26.31 °C) (Figura 50).

Figura 50

Valores máximos de temperatura de superficie por año según jornada

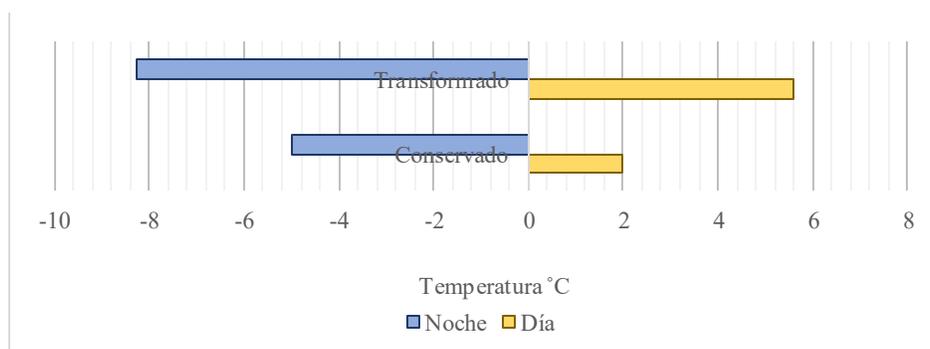


Análisis de los valores mínimos de temperatura de superficie por cobertura y jornada

A partir de los valores mínimos de T_s por cobertura, en el día se encontró que el valor más alto se presentó en la cobertura transformada T con $5.59\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el valor más bajo se presentó en la cobertura conservada C con $1.99\text{ }^{\circ}\text{C}$; mientras que en la noche se registraron valores negativos para las dos coberturas: el valor más alto se presentó en la cobertura conservada C con $-5.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el valor más bajo se presentó en la cobertura T con $-8.25\text{ }^{\circ}\text{C}$. De mismo modo, se observó que el rango de variación de los valores mínimos de T_s entre las dos coberturas en el día fue de $3.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que en la noche fue de $3.24\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 51).

Figura 51

Valores mínimos de temperatura de superficie por cobertura según jornada

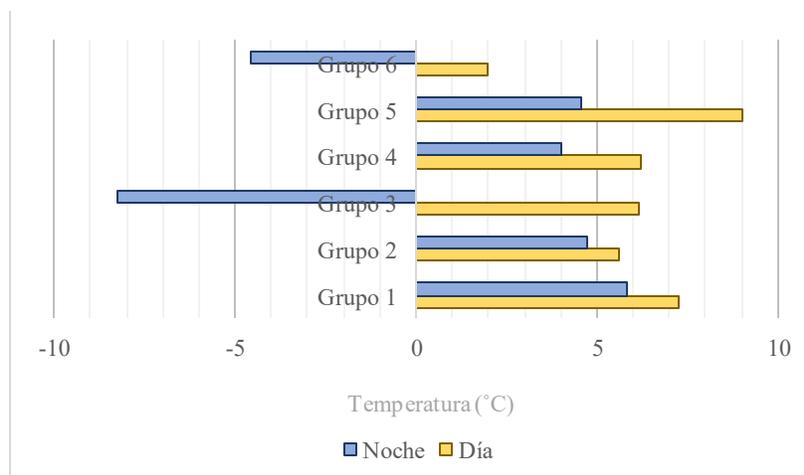


Análisis de los valores mínimos de temperatura de superficie por grupo y jornada

Teniendo en cuenta los valores mínimos de T_s por grupo, en el día se encontró que el valor más alto se presentó en el grupo 5 y el valor más bajo en el grupo 6, con un rango de variación de $7.02\text{ }^{\circ}\text{C}$; mientras que en la noche el valor más alto se presentó en el grupo 1 y el valor más bajo en el grupo 3, con un rango de variación de $14.81\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 52).

Figura 52

Valores mínimos de temperatura de superficie por grupo según jornada

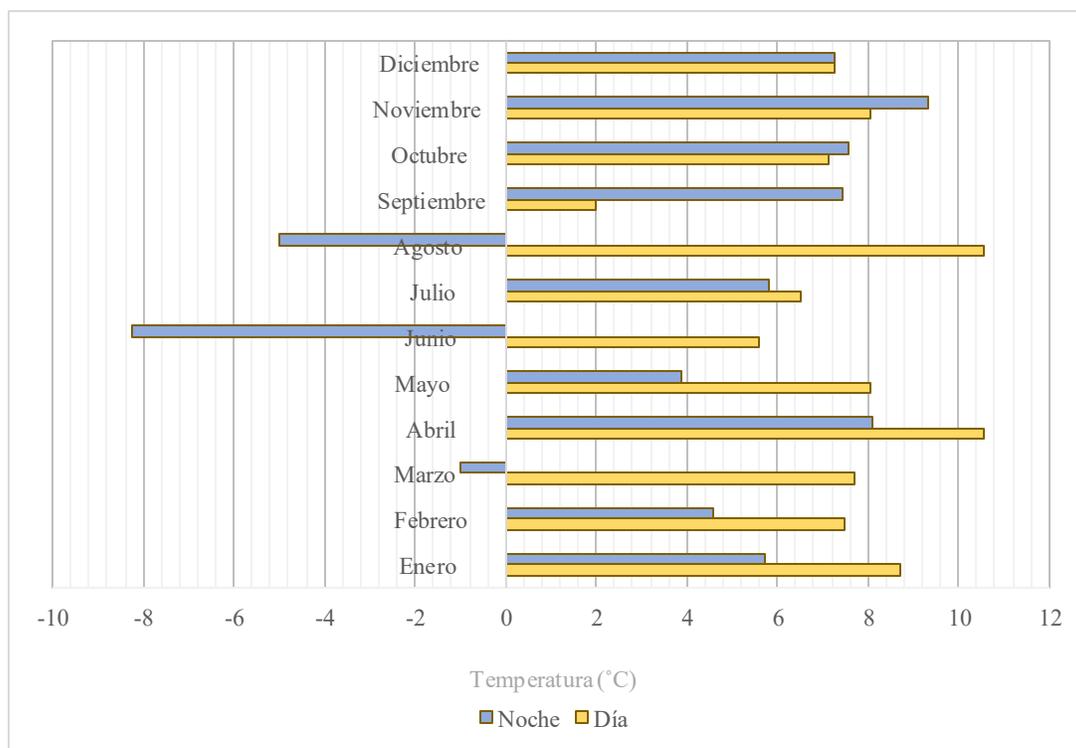


Análisis de los valores mínimos de temperatura de superficie por mes y jornada

A partir de los valores mínimos de T_s por mes, en el día se encontró que hay un rango de variación de $8.58\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo abril el mes con el valor más alto ($10.57\text{ }^{\circ}\text{C}$) y septiembre el mes con el valor más bajo ($1.99\text{ }^{\circ}\text{C}$); mientras que en la noche, noviembre es el mes con el valor más alto ($9.31\text{ }^{\circ}\text{C}$) y junio es el mes con el valor más bajo ($-8.25\text{ }^{\circ}\text{C}$), con un rango de variación de $17.56\text{ }^{\circ}\text{C}$ teniendo en cuenta que se presentaron valores negativos (Figura 53).

Figura 53

Valores mínimos de temperatura de superficie por mes según jornada

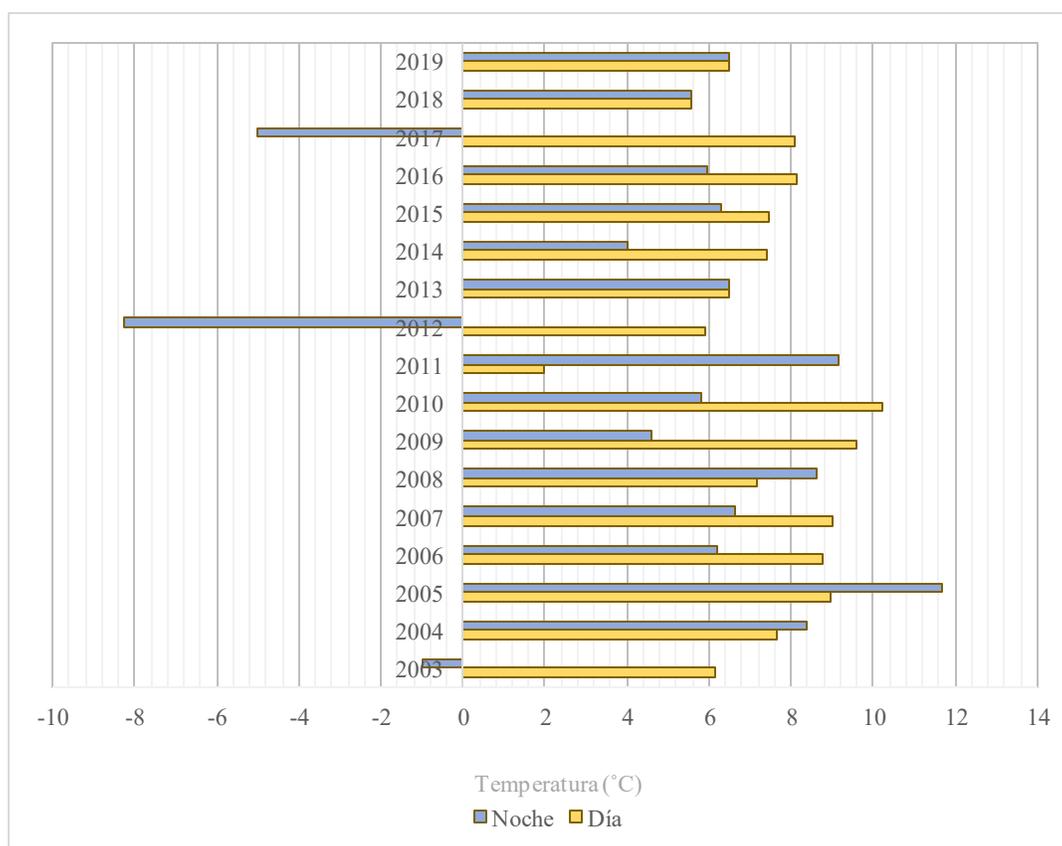


Análisis de los valores mínimos de temperatura de superficie por año y jornada

Teniendo en cuenta los valores mínimos de T_s por año, en el día se encontró que están en un rango de 8.22 °C ya que el valor más bajo fue 1.99 °C en 2009 y el valor más alto fue 10.21 °C en 2010; mientras que en la noche el rango fue de 19.94 °C, dado que se presentaron algunos valores negativos el 19 de diciembre de 2003, el 11 y 19 de julio de 2012 y 3 el 30 de marzo de 2017. Estos valores son atípicos teniendo en cuenta que no tienen una característica en común dado que se presentaron en las dos coberturas, y en diferentes grupos y épocas del año (Figura 54).

Figura 54

Valores mínimos de temperatura de superficie por año según jornada

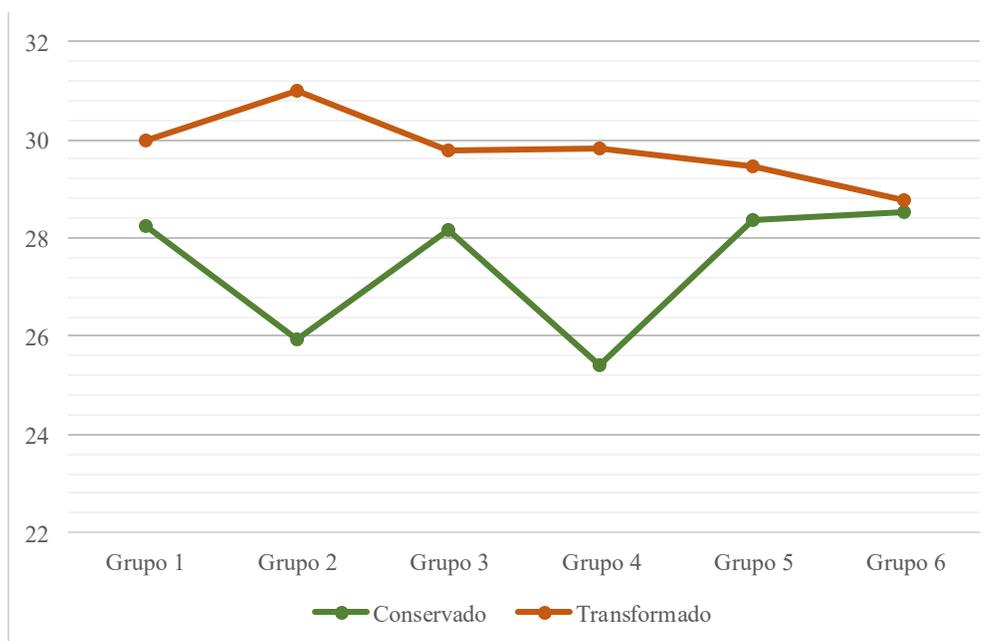


Análisis intragrupos de los valores medios de temperatura de superficie por coberturas

Analizando la T_s media para la jornada del día, se encontró una diferencia promedio de $2.36\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre el valor medio de la cobertura T y la cobertura C, con un rango de variación entre los grupos de $25.39\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $31,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, evidenciando que el grupo 2 presentó la diferencia más amplia en T_s entre la cobertura T y C en comparación a los otros grupos, siendo de $5,06\text{ }^{\circ}\text{C}$; adicionalmente, el grupo 6 mostró un comportamiento similar entre las temperaturas medias obtenidas en ambas coberturas, observando una diferencia de $0,24\text{ }^{\circ}\text{C}$ con un rango de $28,53\text{ }^{\circ}\text{C}$ (T) y $28,77\text{ }^{\circ}\text{C}$ (C) como se evidencia en la Figura 55.

Figura 55

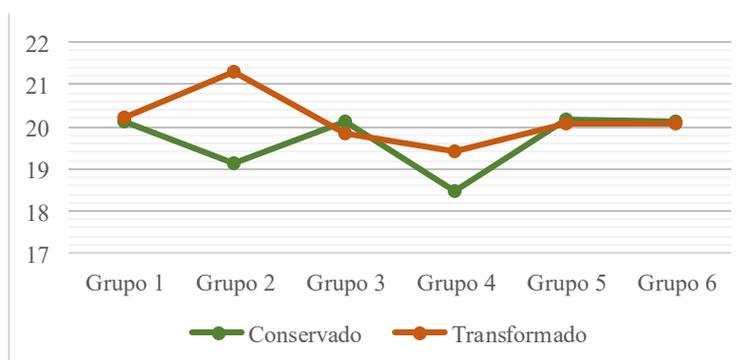
Diferencia en los valores medios de temperatura de superficie por grupo y cobertura en el día



Para la jornada de la noche, se encontró una diferencia promedio de $0.46\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre el valor medio de la cobertura T y la cobertura C, con un rango de variación entre los grupos de $18,48\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $21,28\text{ }^{\circ}\text{C}$, donde el grupo 2 presentó nuevamente la diferencia más amplia en T_s entre la cobertura transformada y conservada en comparación a los otros grupos, siendo de $2,16\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que coincide con el estudio de Abera (2018), donde la T_s presentó valores más altos en matorrales y pastizales que sobre coberturas boscosas, y en el caso del grupo 2, el 38% de los puntos según el Mapa de Cobertura de la Tierra 2010-2012 (IDEAM, 2015) recaen sobre un herbazal, mientras que el 62 % están sobre bosque denso. Así mismo, los grupos 1, 5 y 6 mostraron un comportamiento similar entre las temperaturas medias obtenidas en ambas coberturas, observando una diferencia de $0,08\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0,09\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $0,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente con un rango de diferencia de $20,07\text{ }^{\circ}\text{C}$ (T) y $20,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ (C), relacionando un comportamiento similar entre las dos jornadas (día y noche). En general, los grupos en la jornada de la noche tuvieron un comportamiento similar respecto a la T_s a excepción del grupo 2 (Figura 56).

Figura 56

Diferencia en los valores medios de temperatura de superficie por grupo y cobertura en la noche



Análisis por meses de los valores medios de temperatura de superficie por coberturas

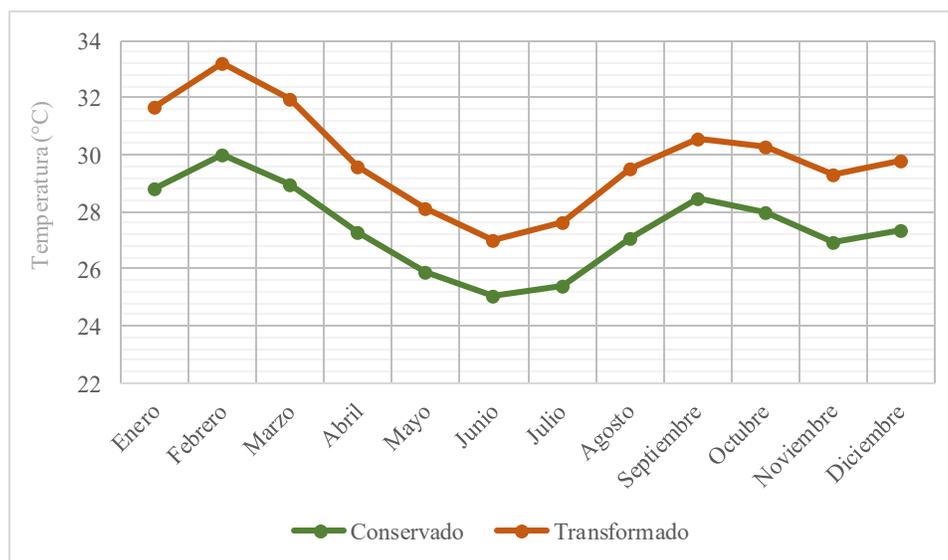
Considerando los valores arrojados en la jornada del día para las coberturas C y T, se identificó que la T_s en la cobertura T, presentó valores más altos con respecto a la cobertura C, en donde la diferencia de la temperatura promedio entre las dos coberturas fue de $2,46\text{ }^{\circ}\text{C}$, no obstante, se conserva la misma amplitud entre los dos registros de T_s .

También se pudo observar que los valores medios de temperatura más altos en las dos coberturas corresponden a los meses más secos, cuando los niveles de precipitación están entre 100mm y 200mm (enero, febrero y marzo), con una T_s máxima alcanzada en el mes de febrero de $29,98\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la conservada y $33,22\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la transformada.

Así mismo, se identificó que los meses con los índices de temperatura más bajos en ambas coberturas son junio y julio, es decir, la temporada húmeda, cuando el nivel de precipitación es de 500mm (Guzmán et al., 2014) con una T_s mínima alcanzada en el mes de junio de $25,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la cobertura C y $27,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la cobertura T (Figura 57); es decir que la humedad es un atributo del suelo que afecta directamente la temperatura de superficie terrestre como lo indicó Sayão et al (2018) en su trabajo sobre la relación entre los atributos del suelo con la T_s en Sao Paulo, Brasil.

Figura 57

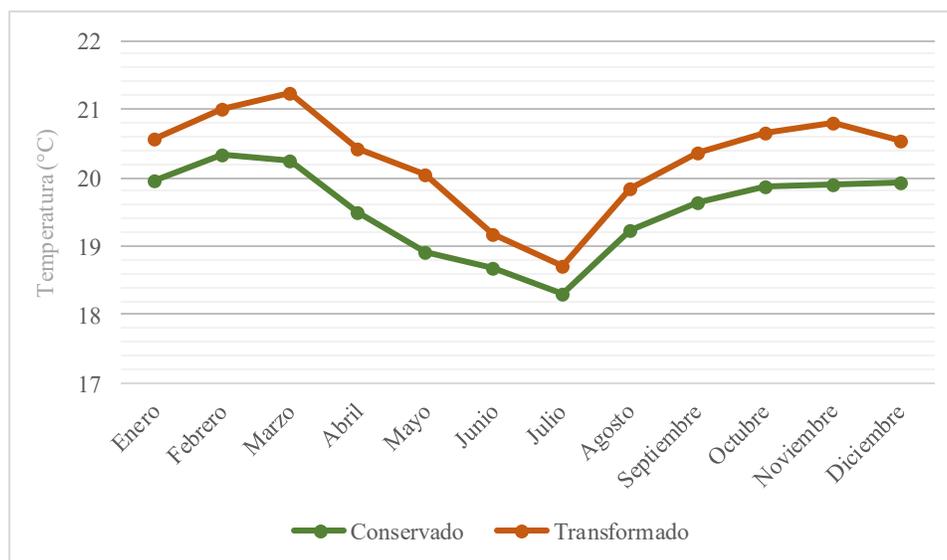
Diferencia en los valores medios de temperatura de superficie por mes y cobertura en el día



En los valores arrojados en la jornada de la noche para las coberturas C y T (Figura 58), se observó que la diferencia de la temperatura promedio entre ellas es de $0.74\text{ }^{\circ}\text{C}$. Además, se evidenció que julio presenta los valores de temperatura más bajos en ambas coberturas siendo de $18,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $18,72\text{ }^{\circ}\text{C}$ (conservada y transformada respectivamente) y respecto al valor más alto en T_s , el mes de febrero en la cobertura C posee un valor de $20,32^{\circ}\text{C}$ y en la cobertura T con una temperatura de $21,24\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el mes de marzo. En general y a partir de los resultados obtenidos, la diferencia en los valores medios de T_s entre las dos coberturas presentaron un comportamiento constante en el transcurso del año.

Figura 58

Diferencia en los valores medios de temperatura de superficie por mes y cobertura en la noche



Según Sud et al., (1988) y Bright et al., (2017) el calentamiento de la superficie durante el periodo seco puede justificarse con la disminución de la tasa de evapotranspiración, por la disminución de la rugosidad de la superficie y por los altos niveles de radiación solar recibida; mientras que durante el periodo húmedo, la disminución de la T_s se explica por el impacto de la reducción o desaparición de la cobertura vegetal, que implica mayor humedad del suelo y la reducción del flujo de radiación solar reflejada recibida por las nubes (Y. Li et al., 2016).

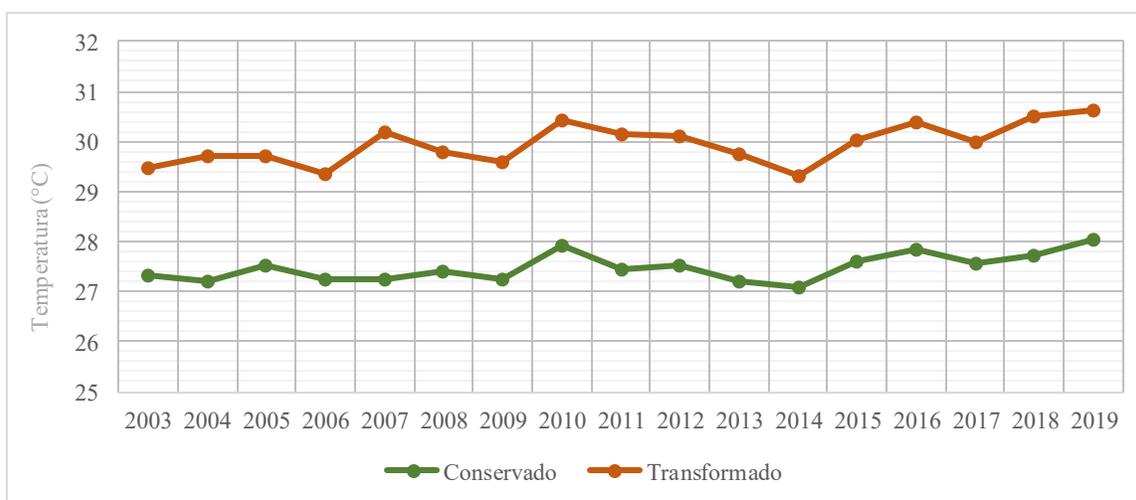
Análisis multianual de los valores medios de temperatura de superficie por coberturas

Teniendo en cuenta los valores medios de T_s desde 2003 hasta 2009, se observó que la curva tiene una amplitud constante entre los valores de la cobertura C y la cobertura T. Adicionalmente, se pudo determinar que el año con el registro de T_s más alto para las

dos coberturas fue 2019, mientras que el registro más bajo se dio en 2007 para la cobertura T (27.24 °C) y en 2014 para la cobertura C (29.32 °C). El año en que presentó la menor diferencia en Ts entre las dos coberturas fue 2006 (2.21 °C), y en 2007 la diferencia fue mayor (2.93 °C) (Figura 59).

Figura 59

Diferencia en los valores medios de temperatura de superficie por año y cobertura



En 2019, la Ts en la cobertura C fue 28.04 °C y en 2003 fue 27.31 °C, es decir que, en un lapso de 17 años, aumentó 0.73 °C. De igual manera, en 2019, la Ts en la cobertura T fue 30.61 °C y en 2003 fue 29.47 °C, es decir que aumento 1.14 °C; esto coincide con la investigación de Mahato (2018) en la cual la destaca la deforestación como uno de los principales agentes en el aumento de Ts sobre su área de estudio, y además indica que la vegetación registró valores de Ts más bajos que otras coberturas, pero a pesar de ello, aumentó 1.5 °C en los últimos 25 años respecto a 3.5 °C que incrementó en otras coberturas entre las que se incluyen zonas urbanas, cultivos y tierras en descanso. Así mismo, el

estudio de Esha (2017), evidenció un aumento de 6 °C entre 2003 y 2011 y destacó que la Ts es más baja en áreas cubiertas por vegetación que en áreas descubiertas o urbanizadas.

Analisis de varianza intragrupos y coberturas

A partir del análisis de los valores medios obtenidos en la prueba estadística, se observó que en las dos coberturas existen diferencias significativas en todos los grupos tanto para la jornada del día como la noche, tal y como se muestra en la Figura 60, donde se toman como ejemplo los valores en los grupos 1 y 2 en ambas jornadas.

Figura 60

Varianza no paramétrica de Kruskal Wallis intragrupos para el día y la noche a partir de Infostat

Prueba de Kruskal Wallis							Prueba de Kruskal Wallis																						
Grupo	Variable	Estado	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p	Grupo	Variable	Estado	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p												
Grupo1	TS	C	10849	28,26	3,53	28,67	1366,23	<0,0001	Grupo1	TS	C	5427	20,12	1,40	20,29	11,10	0,0010												
Grupo1	TS	T	6656	29,98	4,36	30,61			Grupo1	TS	T	3429	20,20	1,40	20,39														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Trat.</th> <th>Ranks</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>7647,20 A</td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>10555,41 B</td> </tr> </tbody> </table>									Trat.	Ranks	C	7647,20 A	T	10555,41 B	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Trat.</th> <th>Ranks</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>4356,57 A</td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>4542,35 B</td> </tr> </tbody> </table>									Trat.	Ranks	C	4356,57 A	T	4542,35 B
Trat.	Ranks																												
C	7647,20 A																												
T	10555,41 B																												
Trat.	Ranks																												
C	4356,57 A																												
T	4542,35 B																												
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)																													
Grupo2	TS	C	15887	25,95	4,10	26,91	6946,52	<0,0001	Grupo2	TS	C	11796	19,12	1,88	19,21	4223,07	<0,0001												
Grupo2	TS	T	9946	31,01	5,14	31,61			Grupo2	TS	T	5418	21,28	2,11	21,51														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Trat.</th> <th>Ranks</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>9857,21 A</td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>17804,49 B</td> </tr> </tbody> </table>									Trat.	Ranks	C	9857,21 A	T	17804,49 B	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Trat.</th> <th>Ranks</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>6939,37 A</td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>12239,32 B</td> </tr> </tbody> </table>									Trat.	Ranks	C	6939,37 A	T	12239,32 B
Trat.	Ranks																												
C	9857,21 A																												
T	17804,49 B																												
Trat.	Ranks																												
C	6939,37 A																												
T	12239,32 B																												
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)																													

Analisis de varianza por meses y coberturas

Observando los valores medios obtenidos en el análisis de varianza, se percibió que en las dos coberturas existen diferencias significativas en todos los meses del año tanto

para la jornada del día como la noche, donde se toman como ejemplo los valores en los meses de abril y agosto en ambas jornadas (Figura 61).

Figura 61

Varianza no paramétrica de Kruskal Wallis por meses para el día y la noche a partir de Infostat

Prueba de Kruskal Wallis								Prueba de Kruskal Wallis																																																													
Mes	Variable	Estado	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p	Mes	Variable	Estado	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p																																																				
Abril	TS	C	4150	27,31	3,95	28,37	630,14	<0,0001	Abril	TS	C	1181	19,50	1,94	19,69	118,62	<0,0001																																																				
Abril	TS	T	2004	29,60	4,01	30,43			Abril	TS	T	427	20,43	2,32	20,63																																																						
Trat. Ranks									Trat. Ranks																																																												
C	2682,44			A					C	728,67			A																																																								
T	3895,62			B					T	1014,23			B																																																								
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mes</th> <th>Variable</th> <th>Estado</th> <th>N</th> <th>Medias</th> <th>D.E.</th> <th>Medianas</th> <th>H</th> <th>p</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agosto</td> <td>TS</td> <td>C</td> <td>6463</td> <td>27,06</td> <td>3,55</td> <td>27,79</td> <td>1432,94</td> <td><0,0001</td> </tr> <tr> <td>Agosto</td> <td>TS</td> <td>T</td> <td>3597</td> <td>29,50</td> <td>3,52</td> <td>29,89</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								Mes	Variable	Estado	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p	Agosto	TS	C	6463	27,06	3,55	27,79	1432,94	<0,0001	Agosto	TS	T	3597	29,50	3,52	29,89			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mes</th> <th>Variable</th> <th>Estado</th> <th>N</th> <th>Medias</th> <th>D.E.</th> <th>Medianas</th> <th>H</th> <th>p</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agosto</td> <td>TS</td> <td>C</td> <td>3605</td> <td>19,23</td> <td>2,02</td> <td>19,47</td> <td>177,05</td> <td><0,0001</td> </tr> <tr> <td>Agosto</td> <td>TS</td> <td>T</td> <td>1588</td> <td>19,85</td> <td>1,96</td> <td>20,19</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								Mes	Variable	Estado	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p	Agosto	TS	C	3605	19,23	2,02	19,47	177,05	<0,0001	Agosto	TS	T	1588	19,85	1,96	20,19		
Mes	Variable	Estado	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p																																																													
Agosto	TS	C	6463	27,06	3,55	27,79	1432,94	<0,0001																																																													
Agosto	TS	T	3597	29,50	3,52	29,89																																																															
Mes	Variable	Estado	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p																																																													
Agosto	TS	C	3605	19,23	2,02	19,47	177,05	<0,0001																																																													
Agosto	TS	T	1588	19,85	1,96	20,19																																																															
Trat. Ranks									Trat. Ranks																																																												
C	4212,79			A					C	2413,27			A																																																								
T	6499,73			B					T	3014,10			B																																																								
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)																																																																					

Sin embargo, tanto en el día como en la noche, las medias de los meses húmedos presentan valores más bajos respecto a las media de los demás meses (Tabla 2), lo que permite identificar la relación que existe entre la Ts y el régimen de lluvias de la región amazónica, como lo demostró Abera (2018) en el estudio que realizó en Africa oriental sobre la interacción de la lluvia y la vegetación como regulador de la temperatura durante condiciones extremadamente secas, donde además sustentó que la temperatura de superficie aumenta durante el periodo seco.

Tabla 2

Valores medios de temperatura de superficie por jornada, mes y cobertura

Mes	Cobertura	Día Media	Noche Media
Enero	Conservada	28,8	19,96
	Transformada	31,7	20,57
Febrero	Conservada	29,98	20,32
	Transformada	33,22	20,99
Marzo	Conservada	28,98	20,26
	Transformada	31,92	21,24
Abril	Conservada	27,31	19,5
	Transformada	29,6	20,43
Mayo	Conservada	25,91	18,91
	Transformada	28,14	20,04
Junio	Conservada	25,03	18,68
	Transformada	27,01	19,17
Julio	Conservada	25,43	18,3
	Transformada	27,65	18,72
Agosto	Conservada	27,06	19,23
	Transformada	29,5	19,85
Septiembre	Conservada	28,45	19,65
	Transformada	30,57	20,36
Octubre	Conservada	28	19,87
	Transformada	30,29	20,64
Noviembre	Conservada	26,94	19,9
	Transformada	29,29	20,79
Diciembre	Conservada	27,36	19,92
	Transformada	29,82	20,55

Análisis de varianza intergrupos

Teniendo en cuenta el análisis de los valores obtenidos en la consulta estadística, se evidenció que no existen diferencias significativas en los valores medios de Ts entre los grupos tanto para la jornada del día como la noche (Figura 62) donde se toma como ejemplo los valores de los grupos de la jornada de la noche. De acuerdo al análisis anterior, se podría atribuir la ausencia de diferencias estadísticamente significativas al tamaño de la muestra,

puesto que la cantidad de puntos tomados para cada grupo es muy limitada y no permite que haya una diferencia considerable entre los valores de las medias.

Figura 62

Varianza no paramétrica de Kruskal Wallis intergrupos para el día y la noche a partir de Infostat

Prueba de Kruskal Wallis						
Variable	Grupo	N	Medias	D.E.	Medianas	H
TS	Grupo1	8856	20,15	1,40	20,33	-880782,04
TS	Grupo2	17214	19,80	2,19	19,77	<0,0001
TS	Grupo3	11932	20,07	2,13	20,39	
TS	Grupo4	6279	18,69	2,60	18,85	
TS	Grupo5	6580	20,12	1,89	20,41	
TS	Grupo6	7685	20,10	1,81	20,35	

Trat.	Ranks
Grupo4	20213,93 A
Grupo2	27510,21 A
Grupo1	31288,25 A
Grupo6	31395,27 A
Grupo3	32005,28 A
Grupo5	32388,14 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Analisis de varianza por meses

De igual forma, al obtener los valores obtenidos en la consulta estadística, se evidenció que no existen diferencias significativas en los valores medios de Ts entre los 12 meses del año en ambas jornadas (día y noche), como se puede observar en la, donde se tomaron los valores de la jornada de la noche (Figura 63).

Figura 63

Varianza no paramétrica de Kruskal Wallis por meses para el día y la noche a partir de Infostat

Prueba de Kruskal Wallis							
Variable	Mes	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
TS	Abril	1608	19,75	2,09	20,03	-889465,30	<0,0001
TS	Agosto	5193	19,42	2,02	19,69		
TS	Diciembre	7926	20,13	1,75	20,33		
TS	Enero	9042	20,17	1,66	20,21		
TS	Febrero	6448	20,54	1,70	20,55		
TS	Julio	4256	18,42	2,83	19,01		
TS	Junio	4031	18,83	2,69	19,47		
TS	Marzo	4032	20,57	2,25	20,94		
TS	Mayo	2291	19,20	2,43	19,65		
TS	Noviembre	4622	20,17	1,80	20,47		
TS	Octubre	3673	20,11	1,69	20,31		
TS	Septiembre	5424	19,87	1,69	19,99		

Trat.	Ranks
Julio	17851,54 A
Junio	22629,50 A
Mayo	24338,27 A
Agosto	24893,60 A
Abril	28079,81 A
Septiembre	28239,06 A
Enero	30881,90 A
Octubre	31198,04 A
Diciembre	31575,09 A
Noviembre	32051,56 A
Febrero	34485,68 A
Marzo	36880,85 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Conclusiones

Se analizaron un total de 168.659 registros de temperatura de superficie a partir del producto MYD11A2 del sensor MODIS, capturados entre 2003 y 2019 sobre los 6 grupos de puntos elegidos dentro del área del Parque Nacional Natural Sierra de La Macarena. La jornada diurna contó con 110.113 datos y la jornada de la noche con 58.546; adicional a esto, 111.778 datos pertenecen a la cobertura conservada y 56.881 a la cobertura transformada; además, el promedio de datos por grupo fue 28.109. Por otro lado, teniendo en cuenta la cantidad de registros por mes y año, septiembre tuvo el mayor número (15.921) y abril el menor número (7.762), y 2016 fue el año con más registros (10.585) y 2019 el año con menos registros (8.708).

A partir del estudio de los valores de temperatura de superficie del Parque Nacional Natural Sierra de La Macarena, se concluye que se presenta una diferencia promedio de 2.46°C entre áreas conservadas y transformadas, esto debido a que las coberturas deforestadas retienen mayores índices de calor en el suelo provocando un aumento en la temperatura de superficie.

Se identificó que el comportamiento de la temperatura de superficie está relacionado con el régimen de precipitaciones de la región amazónica teniendo en cuenta que, en los meses secos, los niveles de precipitación están entre 100mm y 200mm y la temperatura de superficie entre 30°C y 32 °C, mientras que, en los meses húmedos, el nivel de precipitación es de 500mm y la temperatura de superficie está entre 26°C y 27°C. El

comportamiento de la temperatura de superficie en el transcurso del año entre las áreas deforestadas y las áreas conservadas, mantiene un rango de diferencia entre 2°C y 3°C.

El análisis multianual de los datos de temperatura de superficie entre 2003 y 2019, arrojó un aumento de 0.73°C en las áreas conservadas y de 1.13°C en las áreas deforestadas; además dejó en evidencia un aumento de 0.5°C aproximadamente en los valores de temperatura en los últimos tres años en ambas coberturas, lo cual puede estar relacionado con el incremento de la deforestación en las áreas protegidas a raíz de la firma del Acuerdo de paz en 2016.

Recomendaciones

Se propone tomar una muestra más amplia de centros de pixel en las imágenes empleadas para realizar este tipo de estudios, lo cual fortalecería las bases de datos generando mayor precisión en el valor de la temperatura promedio del parque. También se sugiere emplear imágenes tomadas por el sensor MODIS desde la plataforma Terra en comparación con la plataforma Aqua, con el fin de determinar si se encuentran diferencias estadísticamente significativas en los valores medios de temperatura de superficie entre coberturas, meses y años.

Finalmente, se recomienda realizar un estudio de características similares, pero a escala regional o nacional, con el fin de identificar el comportamiento de la temperatura de superficie en áreas protegidas ubicadas en zonas con diferentes características geográficas.

Bibliografía

- Abera, T. A., Heiskanen, J., Pellikka, P., & Maeda, E. E. (2018). Rainfall–vegetation interaction regulates temperature anomalies during extreme dry events in the Horn of Africa. *Global and Planetary Change*, *167*, 35–45.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.05.002>
- Ambientalia. (2020). *La deforestación aumenta el impacto de la radiación solar en la superficie terrestre - Ambientalia*. <https://www.ambientalia.com.co/la-deforestacion-aumenta-impacto-la-radiacion-solar-la-superficie-terrestre>
- Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, *23*(1), 1–26. <https://doi.org/10.1002/joc.859>
- Arrieta, E. (2015). *Estimación de la deforestación en el departamento del chocó utilizando el mapa de cobertura forestal/no forestal de la agencia espacial jaxa*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., Casanoves, F., Di Rienzo, J. A., & Robledo, C. W. (2008). *Manual de usuario InfoStat* (Editorial Brujas (ed.)).
- Bastiaanssen W.G.M., M. Meneti, R.A. Feddes, & Holtslag, a a M. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). *J. Hydrol.*, *212–213*(JANUARY), 198–212. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00254-6](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00254-6)
- Bright, R. M., Davin, E., O’Halloran, T., Pongratz, J., Zhao, K., & Cescatti, A. (2017). Local temperature response to land cover and management change driven by non-

radiative processes. *Nature Climate Change*, 7(4), 296–302.

<https://doi.org/10.1038/nclimate3250>

Carvajal, A. F., & Pabón, J. D. (2014). Temperatura de la superficie terrestre en diferentes tipos de cobertura de la Región Andina Colombiana. *Sociedade & Natureza*, 26(1), 95–112. <https://doi.org/10.1590/1982-451320140107>

Castro Díaz, 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.

Clerici, N., Armenteras, D., Kareiva, P., Botero, R., Ramírez-Delgado, J. P., Forero-Medina, G., Ochoa, J., Pedraza, C., Schneider, L., Lora, C., Gómez, C., Linares, M., Hirashiki, C., & Biggs, D. (2020). Deforestation in Colombian protected areas increased during post-conflict periods. *Scientific Reports*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61861-y>

Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2011). *InfoStat* (versión 24). Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.infostat.com.ar/>

Echeverri, R. (2019). *Impacto de la deforestación sobre la temperatura superficial en la región amazónica colombiana*. Universidad Antonio Nariño.

ElComercio.com. (2020). *La deforestación influye en el clima*.

<https://www.elcomercio.com/tendencias/deforestacion-clima-temperatura-tierras-bosques.html>

- Esha, E. J., & Ahmed, A. (2017). Impacts of land use and land cover change on surface temperature in the north-western region of Bangladesh. *5th IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference 2017, R10-HTC 2017, 2018-Janua*, 318–321. <https://doi.org/10.1109/R10-HTC.2017.8288965>
- ESRI Inc. (1999). *ArcGIS 10.3 for desktop* (10.3.0.4322).
- FAO. (2020). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 – Términos y definiciones*. 188, 33. www.fao.org/forestry/es
- Galicia, L., Luisa, M., Fernández, C., Merit, L., & Ramírez, G. (2014). *Y Bosques De México Con Percepción Remota : Un Enfoque Multiescalar De Espacio Y Tiempo*. 39, 368–374.
- García Cueto, R., Santillán Soto, N., & Ojeda Benítez, S. (2012). Balance radiativo y sus consecuencias en el comportamiento térmico en tiraderos municipales: Estudio de caso en la Ciudad de Méxicali, B.C., México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(1), 105–112.
- Guzmán, D., Ruíz, J., & Cadena, M. (2014). *Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través análisis de componentes principales (ACP)*. 1, 55.
- Hansen, J., R. Ruedy, M. Sato, and K. Lo. (2009). Global surface temperature change, *Rev. Geophys.* 48. *Global Pipeline Monthly*, 5(2), 1–29. <https://doi.org/10.1029/2010RG000345.1>.INTRODUCTION
- IDEAM. (2015). *Mapa de Cobertura de la Tierra 2010-2012, escala 1:100.000*.
- IDEAM. (2020). *Sistema de Monitoreo de Bosque y Carbono - SMBYC*.

<http://smbyc.ideam.gov.co/MonitoreoBC-WEB/>

- Kalma, J. D., McVicar, T. R., & McCabe, M. F. (2008). Estimating land surface evaporation: A review of methods using remotely sensed surface temperature data. *Surveys in Geophysics*, 29(4–5), 421–469. <https://doi.org/10.1007/s10712-008-9037-z>
- Kerr, Y., Lagouarde, J.-P., Nerry, F., & Otle, C. (2000). Land surface temperature retrieval techniques and applications,. In *Thermal Remote Sensing in Land Surface Processes*. <https://doi.org/10.1201/9780203502174-c3>
- Kogan, F. N. (2001). Operational space technology for global vegetation assessment. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82(9), 1949–1964. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2001\)082<1949:OSTFGV>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2001)082<1949:OSTFGV>2.3.CO;2)
- Kustas, W., & Anderson, M. (2009). Advances in thermal infrared remote sensing for land surface modeling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(12), 2071–2081. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.05.016>
- Li, Z. L., Tang, B. H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo, I. F., & Sobrino, J. A. (2013). Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 131, 14–37. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>
- Mahato, S., & Pal, S. (2018). Changing land surface temperature of a rural Rarh tract river basin of India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 10, 209–223. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.04.005>
- Martins, A. (2011). La deforestación también puede bajar la temperatura. *BBC News*

Mundo.

https://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/11/111121_deforestacion_latitud_am

Mas, J.-F. (2011). *Aplicaciones del sensor MODIS para el monitoreo del territorio.*

Melo, J. O. (2016). Resumen del acuerdo de paz. *Revista de Economía Institucional*, 18(35), 319–337. <https://doi.org/10.18601/01245996.v18n35.19>

Mendoza Chichipe, M. E., Salas López, R., & Barboza Castillo, E. (2017). Análisis multitemporal de la deforestación usando la clasificación basada en objetos, distrito de Leymebamba (Perú). *INDES Revista de Investigación Para El Desarrollo Sustentable*, 3(2), 67. <https://doi.org/10.25127/indes.201502.008>

Minambiente, & IDEAM. (2017). *Resultados Monitoreo de la Deforestación 2016.*

Minambiente, & IDEAM. (2018). *Resultados Monitoreo de la Deforestación 2017.*

Minambiente, & IDEAM. (2019). *Resultados Monitoreo de la Deforestación 2018.*

Minambiente, & IDEAM. (2020). *Resultados Monitoreo de la Deforestación 2019.*

<http://www.ideam.gov.co/documents/10182/105413996/presentacionbalancedeforestacion2019/7c9323fc-d0a1-4c95-b1a1-1892b162c067>

Murad, C. A., & Pearse, J. (2018). Landsat study of deforestation in the Amazon region of Colombia: Departments of Caquetá and Putumayo. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 11(July), 161–171.

<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.07.003>

NASA. (2020). *MODIS Web.* <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/>

NOAA. (2020). *Cold & Warm Episodes by Season.*

https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.ph

p

Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2016). *Sistema Nacional de Áreas Protegidas – SINAP | Parques Nacionales Naturales de Colombia.*

<http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/sistema-nacional-de-areas-protegidas-sinap/>

Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2018). *RUNAP.*

<https://runap.parquesnacionales.gov.co/categoria/SINAP/5>

Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2020). *Parque Nacional Natural Sierra de la Macarena | Parques Nacionales Naturales de Colombia.*

<http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/ecoturismo/region-amazonia-y-orinoquia/parque-nacional-natural-sierra-de-la-macarena/>

Poveda Jaramillo, G., & Mesa Sánchez, Ó. (1995). Efectos hidrológicos de la deforestación. *Energética, 16*, 91–102.

Sayão, V. M., Demattê, J. A. M., Bedin, L. G., Nanni, M. R., & Rizzo, R. (2018).

Satellite land surface temperature and reflectance related with soil attributes.

Geoderma, 325(2014), 125–140. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.026>

Sud, Y. C., Shukla, J., & Mintz, Y. (1988). Influence of Land Surface Roughness on Atmospheric Circulation and Precipitation: A Sensitivity Study with a General Circulation Model. In *Journal of Applied Meteorology* (Vol. 27, Issue 9, pp. 1036–1054). [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1988\)027<1036:iolsro>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1988)027<1036:iolsro>2.0.co;2)

Tarawally, M., Wenbo, X., Weiming, H., Mushore, T. D., & Cao, S. (2018). Effect of deforestation on land surface temperature: A case of Freetown and Bo Town in

- Sierra Leone. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2018-July, 5232–5235. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2018.8517986>
- Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370–384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
- Wan, Z., Hook, S., & Hulley, G. (2015). *MYD11A2 MODIS/Aqua Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3 Global 1km SIN Grid V006 [Data set]*. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MYD11A2.006>
- WDC. (2020). *MODIS Sensor WDC-RSAT*. <https://wdc.dlr.de/sensors/modis/>
- Weng, Q. (2009). Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), 335–344. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.03.007>
- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467–483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>
- Wilson, J., Buffa, A., & Lou, B. (2003). *Física*. Pearson Educación.
- Zárate, C., Herrera, A., Duarte, M., Villalba, W., & Cifuentes, L. (2005). *Plan De Manejo Parque Nacional Natural Sierra de La Macarena 2005 - 2009*. <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/12/LosNevados.pdf>
- Zárate, C., Ruiz, O., & Rodríguez, L. (2018). Plan de Manejo del Parque Nacional Natural Sierra de la Macarena. In *Parques Nacionales Naturales de Colombia*.

<https://storage.googleapis.com/pnn-web/uploads/2013/12/PM-Macarena-JULIO-27-de-2018.pdf>