

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN
COBERTURAS DE BOSQUES Y DEFORESTADAS EN EL INTERFLUVIO
LOSADA – GUAYABERO DEPARTAMENTO DEL META, REPUBLICA
DE COLOMBIA, MEDIANTE EL USO DEL SENSOR MODIS.**

LEIDY ACOSTA RODRÍGUEZ & NANCY RAMÍREZ BARRAGÁN

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y CIVIL
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA
2020

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN
COBERTURAS DE BOSQUES Y DEFORESTADAS EN EL INTERFLUVIO
LOSADA – GUAYABERO DEPARTAMENTO DEL META, REPUBLICA
DE COLOMBIA, MEDIANTE EL USO DEL SENSOR MODIS.**

LEIDY ACOSTA RODRÍGUEZ
Cod.11791623787
NANCY RAMÍREZ BARRAGÁN
Cod. 11791622671

Tesis de Grado presentada como requisito para optar al título de
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Directores:
Dr. Andres Felipe Carvajal Vanegas
M.SC. Raul Echeverry B.

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y CIVIL
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA
2020

Resumen

El interfluvio Losada – Guayabero hace parte del Área de Manejo Especial de la Macarena (AMEM), y comunica los ecosistemas Andinos con la Amazonía y la Orinoquia, está conformada por los Parques Nacionales Naturales Sierra de la Macarena, Tinigua, parte de Cordillera de Los Picachos y parte de Sumapaz y los Distritos de Manejo Integrado de los Recursos Naturales Zonas de preservación y recuperación para la preservación y Zonas de producción y recuperación para la producción, es una región de importancia estratégica con alta prioridad de conservación, fue declarada Patrimonio de la Humanidad, Reserva de la Biosfera y es de importancia para la fijación de carbono atmosférico en la Amazonía Colombiana (MMA et al., 2004). Sin embargo, se ha observado un aumento progresivamente desde el 2013 en las tasas de deforestación, debido a la presencia de grupos ilegales, cultivos ilícitos, ganadería extensiva y el desarrollo de la infraestructura vial, con fines de extracción maderera (Corporación Para El Desarrollo Sostenible del Área Manejo Especial la Macarena - CORMACARENA, 2020)

Varios autores relacionan la precipitación (P), la evapotranspiración (ET) y las condiciones fisiológicas de la vegetación, como variables principales en el ciclo hidrológico. En este sentido, se pretende establecer relación entre la deforestación o el cambio del uso del suelo y las variaciones de Evapotranspiración. Por tanto este documento contiene, los resultados del estudio multitemporal de la evapotranspiración en el interfluvio Losada – Guayabero, de diecisiete años consecutivos (2003 – 2019); realizado mediante procesamiento de imágenes del sensor MODIS.

The Losada - Guayabero interfluvium is part of the Macarena Special Management Area (AMEM), and communicates the Andean ecosystems with the Amazon and Orinoquia, is made up of the Sierra de la Macarena National Natural Parks, Tinigua, part of the Cordillera de Los Picachos and part of Sumapaz and the Districts of Integrated Management of Natural Resources Zones of preservation and recovery for preservation and Zones of production and recovery for production, is a region of strategic importance with high conservation priority, was declared a World Heritage Site. Humanity, Biosphere Reserve and is of importance for the fixation of atmospheric carbon in the Colombian Amazon (MMA et al., 2004). However, there has been a progressive increase since 2013 in deforestation rates, due to the presence of illegal groups, illicit crops, extensive livestock farming, and the development of road infrastructure, for the purpose of logging (Corporación Para El Desarrollo Sostenible of the Macarena Special Management Area - CORMACARENA, 2020)

Several authors relate precipitation (P), evapotranspiration (ET) and the physiological conditions of the vegetation, as main variables in the hydrological cycle. In this sense, it is intended to establish a relationship between deforestation or land use change and Evapotranspiration variations. Therefore, this document contains the results of the multitemporal study of evapotranspiration in the Losada-Guayabero interfluvium, for seventeen consecutive years (2003 - 2019); performed by image processing of the MODIS sensor.

.Tabla de Contenidos

v

Introducción	1
Marco Teórico y Estado del conocimiento	3
Conductancia superficial a transpiración	3
Peinman Monteith	4
Deforestación y sus efectos en las variables climáticas.....	5
Uso de la percepción remota.....	8
Estimación de ET con sensor MODIS	9
Objetivos	11
General.....	11
Específicos	11
Metodología	12
Área de estudio	12
Materiales, insumos y métodos.....	13
Resultados y discusión.....	18
Medidas de Resumen o Estadísticas básicas.....	18
Análisis Intragrupal.....	21
Análisis de Varianza por grupos de trabajo	25
Análisis Intergrupar.....	27
Estadísticas de Resumen	27
Análisis de Varianza	29
Conclusiones.....	33
Recomendaciones	35
Lista de referencias	36

<i>Tabla 1.</i> Análisis de la variable PET, por estado del pixel.....	19
<i>Tabla 2.</i> Prueba de Kruskal Wallis de la variable PET, por Estado del pixel.	19
<i>Tabla 3.</i> Prueba de Kruskal Wallis de la variable PET, por meses del año.....	20
<i>Tabla 4.</i> Prueba de Kruskal Wallis Grupo 1.....	25
<i>Tabla 5.</i> Prueba de Kruskal Wallis Grupo 2.....	26
<i>Tabla 6.</i> Prueba de Kruskal Wallis Grupo 3.....	26
<i>Tabla 7.</i> Prueba de Kruskal Wallis Grupo 4.....	26
<i>Tabla 8.</i> Prueba de Kruskal Wallis Grupo 5.....	26
<i>Tabla 9.</i> Prueba de Kruskal Wallis Grupo 6.....	27
<i>Tabla 10.</i> Prueba de Kruskal Wallis Grupo 7.....	27
<i>Tabla 11.</i> Prueba de Kruskal Wallis Grupo 8.....	27
<i>Tabla 12.</i> Resultado de la variable PET, respecto a los grupos de trabajo.....	28
<i>Tabla 13.</i> Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de enero.....	29
<i>Tabla 14.</i> Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de febrero.....	29
<i>Tabla 15.</i> Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de marzo.....	30
<i>Tabla 16.</i> Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de abril.....	30
<i>Tabla 17.</i> Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de mayo.....	30
<i>Tabla 18.</i> Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de junio.....	31
<i>Tabla 19.</i> Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de julio.....	31
<i>Tabla 20.</i> Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de agosto.....	31
<i>Tabla 21.</i> Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de septiembre.....	31
<i>Tabla 22.</i> Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de octubre.....	32
<i>Tabla 23.</i> Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de noviembre.....	32
<i>Tabla 24.</i> Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de diciembre.....	32

<i>Figura 1.</i> Delimitación del Área de Estudio.....	13
<i>Figura 2.</i> Distribucion de los Grupos 1, 4 y 5, en el area de estudio.....	15
<i>Figura 3.</i> Distribucion del grupo 8, en el area de estudio.....	15
<i>Figura 4.</i> Distribucion del grupo 7, en el area de estudio.....	16
<i>Figura 5.</i> Distribucion de los Grupos 2, 3 y 6, en el area de estudio.....	16
<i>Figura 6.</i> Esquema metodológico.....	17
<i>Figura 7.</i> Prueba de Kruskal Wallis para el Estado de la variable PET, por meses del año.	21
<i>Figura 8.</i> PET Media Anual Grupo 1(Periodo 2003 – 2019).....	22
<i>Figura 9.</i> PET Media Anual Grupo 2(Periodo 2003 – 2019).....	23
<i>Figura 10.</i> PET Media Anual Grupo 3 (Periodo 2003 – 2019).....	23
<i>Figura 11.</i> PET Media Anual Grupo 4 (Periodo 2003 – 2019).....	23
<i>Figura 12.</i> PET Media Anual Grupo 5 (Periodo 2003 – 2019).....	24
<i>Figura 13.</i> PET Media Anual Grupo 6 (Periodo 2003 – 2019).....	24
<i>Figura 14.</i> PET Media Anual Grupo 7 (Periodo 2003 – 2019).....	24
<i>Figura 15.</i> PET Media Anual Grupo 8 (Periodo 2003 – 2019).....	25
<i>Figura 16.</i> Análisis de la variable PET, respecto a los grupos de trabajo.	28

Introducción

Los procesos históricos de colonización en el sur del departamento del Meta y el contexto del conflicto armado Colombiano, han llevado al deterioro ambiental; entre los años 60 y 80, el desplazamiento obligó a familias campesinas a establecerse en las márgenes de los ríos Losada y Guayabero trayendo consigo prácticas de tumba y quema, que generaron los primeros parches de pastizales. Conscientes de la necesidad de regular el uso del territorio al tiempo de velar por sus intereses de supervivencia, Colonos y Campesinos conformaron la Asociación Campesina Ambiental Losada Guayabero “Ascal-g” en la década de los 90, desde entonces promueven instrumentos de ordenación y planificación para la conservación y uso sostenible, construidos desde la autodeterminación comunitaria (MMA et al., 2004).

Para 1996, se expidió el Acuerdo 01 que regula el uso del territorio, seguidamente en la década del 2000, construyeron el Plan De Ordenamiento Territorial y Desarrollo Alternativo Interfluvio Losada – Guayabero, y en el año 2016 en el marco de lo que sería el pos- conflicto, se llevó a cabo la audiencia para la constitución de la zona de reserva campesina Losada – Caño Perdido, todos estos instrumentos cuentan con el soporte técnico y cartográfico acumulado; así las cosas, se puede decir que este documento permitirá establecer un punto de referencia para futuros estudios de la zona relacionados con los recursos hídricos, o el impacto de la deforestación en la evapotranspiración y el ciclo hidrológico.

El interfluvio Losada – Guayabero hace parte del Área de Manejo Especial de la Macarena- AMEM; en donde históricamente se han presentado

problemáticas ambientales como la deforestación, que ha aumentado progresivamente desde el 2013, ubicando al sur del departamento del Meta, en los primeros lugares de tasa de deforestación del País; este fenómeno está relacionado principalmente con la presencia de grupos ilegales y su relación con los cultivos ilícitos, la ganadería extensiva y el desarrollo de la infraestructura vial, con fines de extracción maderera (Corporación Para El Desarrollo Sostenible del Área Manejo Especial la Macarena - CORMACARENA, 2020).

En escalas locales y globales, se asocia la ampliación de la frontera agrícola y en general los cambios de la cobertura vegetal, con alteraciones del ciclo hidrológico (Mendoza et al., 2012); entonces, se puede afirmar que la vegetación cumple un papel principal en el ciclo hidrológico, porque controla la precipitación que llega al suelo, interviniendo en los procesos de interceptación, infiltración y evapotranspiración (Coruña, 2011).

En este sentido, se pretende establecer relación entre la deforestación y los cambios en la Evapotranspiración y el ciclo hidrológico, que pueden servir como punto de referencia o insumo para evaluar la tendencia de las mismas, en la región.

Marco Teórico y Estado del conocimiento

Conductancia superficial a transpiración

La precipitación (P) y la evapotranspiración (ET), son dos de las variables principales en el ciclo hidrológico; a su vez los procesos clave que intervienen en la ET son la intercepción, radiación neta, advección, área foliar y agua disponible para plantas, por lo que se infiere la importancia de conocer el comportamiento de las plantas y su relación con los cambios climáticos (L et al., 1999).

Con base en lo anterior, la importancia del monitoreo de las coberturas vegetales y de los fenómenos que interactúan en la superficie terrestre, está dada por su influencia en el ciclo hidrológico; así por ejemplo, en las coberturas de pasto o agricultura y bosques, tanto la disponibilidad de agua, la escorrentía, tasas de infiltración de suelo, y la evapotranspiración, varían de una cobertura a la otra (Maass et al., 2005). Entonces, la evapotranspiración es uno de los componentes más importantes de la hidrología, y se define como la sumatoria de los procesos de evaporación, de las partículas de agua libres o depositadas en el suelo desnudo (se da por factores climáticos); y la transpiración, que consiste en la circulación del agua al interior de la planta desde la raíz hasta su liberación por los estomas (depende de la fisiología de cada especie), (Taera, 2011). ambas transfieren a la atmósfera masa de agua y energía en forma de vapor (Calvo, 2019), la velocidad en que el agua transpirada llega a la atmósfera se conoce como conductancia estomática (Ulises, 2005).

La deforestación, conlleva a erosión del suelo y a la reducción de su capacidad de retener agua, condiciones que que aumenta la evaporación, y afecta los proceso fotosintéticos e

hídricos de las plantas; sin embargo, no todas las plantas responden igual al déficit de agua, algunas cuentan con sistemas radiculares muy eficientes para capturar agua e incluso depositarla cerca de la superficie del suelo, posibilitando la sobrevivencia de otras (Ulises, 2005). De acuerdo a lo anterior expuesto, todas las variables y procesos que ocurren dentro y fuera de la planta, se reflejan en la evapotranspiración y por tanto en el balance hídrico.

Penman Monteith.

Una de las limitantes en la productividad de cultivos, es la escases y calidad de agua para el riego, lo que llevo al cálculo de la Evapotranspiración, especialmente en zonas en donde no se observa una tendencia generalizada de precipitación o temperatura, aun cuando se identifican fluctuaciones en ciertas escalas de tiempo que son acompañadas por cambios en el uso del suelo; el estudio de la evapotranspiración de referencia, se puede utilizar para estimar el efecto climático, representar la evapotranspiración de una superficie de referencia hipotética, y ayuda a comprender y parametrizar los cambios que ocurren en el ciclo hidrológico y las consecuencias para los recursos hídricos (López-Moreno et al., 2009).

En estos términos, la Evapotranspiración de referencia (ET_o) sirve para estimar la ET en una superficie cubierta con cultivo hipotético de referencia (12cm de altura, resistencia superficial de 70s.m-1, albedo de 0,23) (Jaramillo, 2006), en donde las condiciones de crecimiento y humedad son específicas (Gómez-Blanco & Cadena, 2018); así las cosas La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), y la Comisión Internacional de Riego y Drenaje (ICID), adaptaron la ecuación de Penman

Monteith, como la forma estándar de calcular ETo a partir de datos climáticos, ya que su enfoque físico, permite que se utilice de forma global, además se ha probado en diferentes condiciones climáticas usando datos del lisímetro (Omar et al., 2016).

La ecuación se basa en el balance energético y considera el efecto de disponibilidad de agua en evapotranspiración a través de resistencia del dosel por lo que (L et al., 1999):

$$ET = \Omega \frac{S}{S+Y} (R_n - G) + (1 - \Omega) \frac{\rho C_p D_m}{Y r_s}$$

$$\Omega = (\varepsilon + 1) / \left[\varepsilon + 1 + \left(r_s / r_a \right) \right]$$

En donde:

Ω : es el coeficiente de desacoplamiento, S: es la pendiente de la curva de presión de vapor de saturación, γ es el constante psicométrica, ε es s / γ , R_n es la radiación neta, G es el flujo de calor del suelo, ρ es la densidad del aire, C_p es el calor específico del aire, D_m es la presión de vapor déficit, r_s es la resistencia superficial, r_a es el resistencia aerodinámica, que es una función de longitud de rugosidad.

Deforestación y sus efectos en las variables climáticas.

Aunque el estudio de los efectos de la variabilidad espacial del cambio de uso del suelo sobre la evaporación y transpiración siguen siendo poco conocidos, además de un desafío, debido a los periodos cortos de monitoreo, y la disponibilidad y acceso limitado a los datos (von Randow et al., 2012). No se puede negar, que el comportamiento de la variable Evapotranspiración (ET), permite evaluar de forma cuantitativa procesos

relacionados con la humedad del suelo, las características climáticas de las distintas zonas, detectar el estrés hídrico vegetal entre otras, en escalas locales y regionales (Flores et al., 2007).

Para (Yao et al., 2014) los cambios climáticos e hidrológicos que se presentan en escalas locales y regionales, obedecen a la deforestación y conversión de bosques en praderas. En su estudio en la China subártica, encontraron que a nivel local, las variaciones anuales (periodo 1980 a 2000) de ET terrestres y su disminución, se correlacionan con el aumento de la deforestación. Aun cuando la tendencia la de ET a nivel regional, no fue decreciente, ya que los resultados mostraron un ligero aumento en la ET terrestre en el periodo 1982 a 2010, y la deforestación a escala regional juego un papel menor en la regulación de las variaciones ET, los autores concluyen que puede deberse a que los programas de reforestación en la zona, compensaron los efectos en la ET a escala regional durante este período de tiempo.

Así mismo, (Wiekenkamp et al., 2016) analizaron los datos hidrológicos, en una cuenca hidrográfica en el Parque Nacional de Eifel, Alemania; para investigar los efectos de la deforestación parcial en los estados y flujos hidrológicos, con datos de 5 años de monitoreo, 3 años antes y 2 años después de la deforestación, de la parte más húmeda de la cuenca, cuya vegetación se componía de una plantación de abetos con alturas entre 20 y 30 mt. Los resultados en la escala de tiempo anual, evidenciaron aumentos en la descarga media anual y disminuciones en la evapotranspiración real media anual en el área deforestada, lo que condujo a un aumento de la humedad y capacidad de almacenamiento del suelo. Además, en el segundo año después de la deforestación y con

el establecimiento de hierba y regeneración natural, que en combinación con los cambios en la humedad del suelo, facilitaron mayores tasas de ET anual en el verano. Concluyen que se evidencian cambios en todos los componentes del balance hídrico causados por la deforestación.

(von Randow et al., 2012); presentaron mediciones y cálculos de evapotranspiración para dos sitios de pastoreo al norte de Manaus, estado de Amazonas, Brasil (uno en el centro y otro en el suroeste) y evaluar las diferencias entre ellos; encontrando que la ET presenta estacionalidad en ambos sitios, disminuyendo durante la estación seca, por la reducción de precipitación, aun cuando la Amazonía central, presenta una respuesta tardía a la disminución de la precipitación en comparación con el suroeste de la Amazonía. Por otro lado, ambos sitios tienen una respuesta rápida similar al inicio de la temporada de lluvias, y la evapotranspiración aumenta inmediatamente con el comienzo de la estación húmeda. Mientras que la evapotranspiración en suroeste presenta una disminución significativa de la estación húmeda a la seca, en el centro esto La disminución no es tan significativa. Adicional a lo anterior, al comparar los resultados de ET para coberturas de bosque en la Amazonia, generalmente los estudios muestran un aumento de la ET durante la estación seca, mientras que en sitios de pastoreo la ET disminuye, debido a que el suelo es más propenso a secarse y las raíces del pasto no puede alcanzar las capas profundas del suelo, donde se mantiene alta humedad cuando la precipitación disminuye, por lo anterior, la sustitución del bosque por pastos puede afectar ciclo hidrológico a nivel regional y este impacto en el reciclaje del agua es aún mayor durante la estación seca.

Uso de la percepción remota

Desde el punto de vista del manejo de los recursos hídricos y de la necesidad de alcanzar zonas remotas, se requiere el uso de métodos que permitan el monitoreo de gran escala, superar las limitantes de acceso y disponibilidad de los datos, y mejorar las estimaciones de la dinámica del ciclo hidrológico y su relación con superficie terrestre y el cambio climático (da Silva et al., 2019); por ello, la relevancia de los estudios realizados a partir de la estimación de la evapotranspiración con técnicas de percepción remota (López Avendaño et al., 2017); aun cuando, esta técnica, permite la obtención de información continua y regular, en algunas zonas debe complementarse con información de métodos convencionales (Martínez, 2002).

Varias son los modelos para la estimación de la ET mediante el uso de sensores remotos; por un lado, el modelo basado en el balance energético de la superficie terrestre, que para la ecuación, requiere conocer el volumen y la distribución de la radiación neta, que llega a la superficie y que se devuelve en forma de radiación terrestre, conducción o se transfiere a la atmosfera en forma de evapotranspiración, (Martínez, 2002). Otros modelos, utilizan la correlación negativa, entre la temperatura superficial y características de la vegetación; a su vez, establecen relación entre Temperatura, Índices de Vegetación y evapotranspiración y que generalmente se asocian al estrés hídrico de las plantas (Calvo, 2019).

Si bien, se encontraron varias metodologías que usan datos obtenidos en campo y con sensores remotos para analizar la evapotranspiración, se evidencia que en su mayoría establecen relación, entre la variación en la disponibilidad de los recursos hídricos y los

cambios en los estados fisiológicos y estructurales de la vegetación (Olivera-Guerra et al., 2014).

Estimación de ET con sensor MODIS

La necesidad de determinar los cambios en procesos de orden climático y ambiental y sus implicaciones en la vida en la tierra, llevo a la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio), a crear el proyecto de monitoreo con el uso de sensores remotos, Earth Observing System (EOS) que lanzó a finales de los noventa e inicios del dos mil, los satélites Terra y Aqua cuyo primer elemento es el sensor MODIS (Anderson, 2016), que tiene como características principales: 1. Cobertura espacial y espectral útil en estudios de tierra, atmosfera y océano. 2. Continuidad en la toma de medidas (cobertura casi diaria). 3. Está formado por un instrumento de escaneo electro óptico y cuenta con mecánica que le permite proporcionar imágenes en la dirección de vuelo utilizando el movimiento del satélite. 4. Cuentan con Sistema satelital de rastreo y transmisión de datos (TDRSS) mediante el cual los datos se transfieren a estaciones en tierra bajo las modalidades de transmisión programada y directa 5. Cuenta con dos fuentes de metadatos: el interno (HDF, atributos globales y específicos del dato) , y el externo ECS (en formato XML y contiene parte de la información del HDF) 6. Resolución radiométrica de 12 bits, en 36 bandas del espectro electromagnético. (Amaral et al., 2013).

En cuanto a la estimación de la evapotranspiración el proyecto NASA / EOS utiliza datos del producto global el conjunto de datos de MOD16 evapotranspiración global (ET) / flujo de calor latente (LE) / potencial ET (PET) / potencial LE (PLE) los cuales son datos

de superficie terrestre de 1 km² para las áreas de tierra con vegetación global de 109.03 millones de km² a los 8 días, intervalos mensuales y anuales.

Por ejemplo, en el sudeste de la Amazonia brasileña, en el estado de Rondônia, (da Silva et al., 2019), evaluaron la dinámica espacial de la evapotranspiración y la influencia de la deforestación a través de estadísticas comparativas de diferentes coberturas (forestal, deforestada y no forestal) dividiendo la zona de estudio en subregiones, en el período de 2000 a 2014 y con datos de sensores remotos de evapotranspiración del producto MOD16A2, que proporcionaron una representación satisfactoria del cambio de ET en grandes áreas de la Amazonía brasileña. Los resultados indicaron que la ET disminuye significativamente en la estación seca y se presenta un aumento pequeño en la estación húmeda, estos cambios son promovidos por la deforestación y actividades antrópicas, como el riego y la creación de reservorios, también actúan para modificar la ET. El análisis por subregión permitió verificar que estas diferencias pueden variar significativamente de una subregión a otra, lo que sugiere la alta variabilidad espacial del proceso de ET en la región de estudio.

Objetivos

General

Evaluar la variación de la evapotranspiración en las coberturas de bosque y áreas deforestada del interfluvio Losada – Guayabero, en el sur del departamento del Meta, Colombia, en el periodo 2003 – 2019.

Específicos

Describir el comportamiento de la evapotranspiración en las coberturas de bosque y áreas deforestadas.

Analizar las diferencias en la evapotranspiración entre las coberturas de bosque y las áreas deforestadas durante el periodo 2003 – 2019.

Metodología

Área de estudio

El área de estudio está compuesta por aproximadamente 765.000 ha, que hacen parte del cordón que conecta los ecosistemas Andinos con la Amazonía y la Orinoquia; más específicamente al sur del departamento del Meta. Espacialmente se ubica el área de manejo especial de la Macarena (AMEM) la cual está conformada por los Parques nacionales Naturales Sumapaz, Cordillera Los Picachos, Tinigua y La Macarena y Distritos de Manejo Integrado (MMA et al., 2004).

En cuanto a las características biofísicas, se sitúa en el basamento precámbrico del Escudo Guayanés, entre los 200 y 2.800 m de altitud, presenta suelos poco profundos y pobres en nutrientes. El promedio mensual de precipitación es de 216,4 mm y la distribución es unimodal-bioestacional con un período de lluvias (abril – noviembre). La temperatura máxima promedio en la estación La Macarena (350 m) es 33,40 C; la vegetación está compuesta por gramíneas y parches de vegetación en la sabana, cinco estratos de vegetación en los bosques de galería y bosques secundarios (Rangel-Ch., 1998).

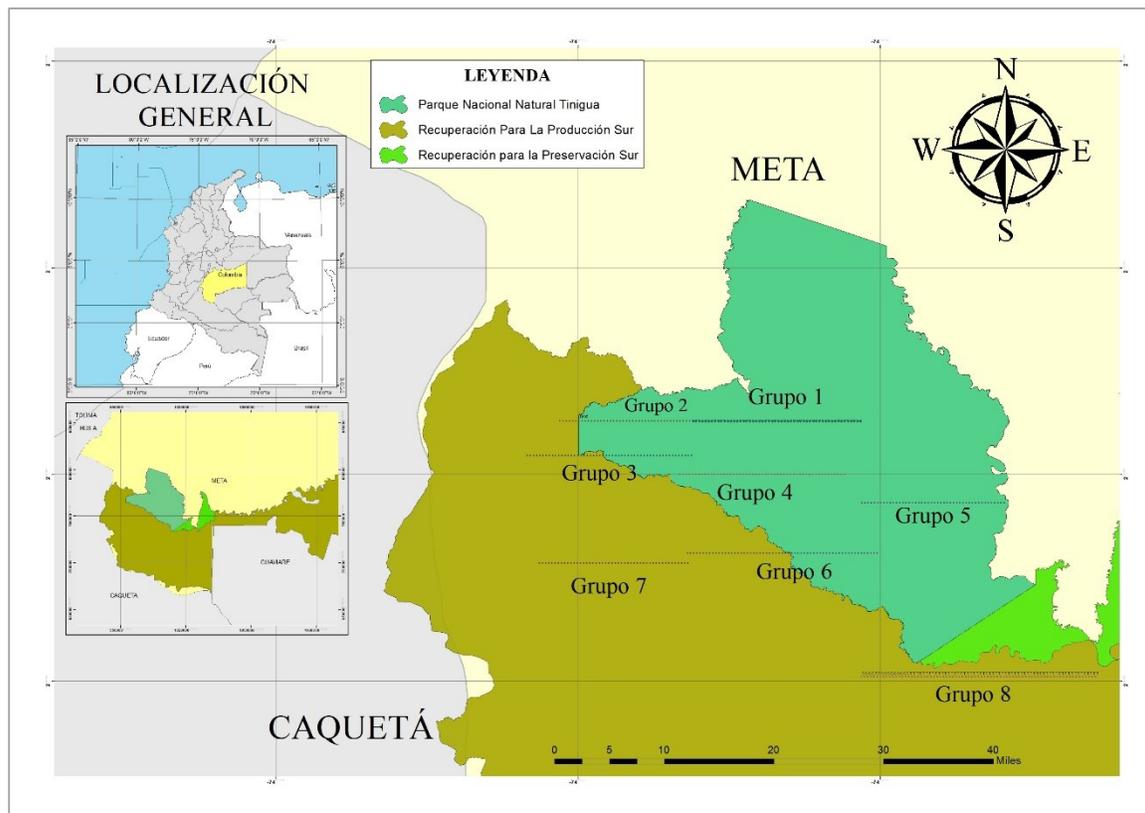


Figura 1. Delimitación del Área de Estudio.

Archivo shp división Política Administrativa de Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi- IGAC

Materiales, insumos y métodos

El principal insumo de este documento son las imágenes provenientes del sensor MODIS, que fueron descargadas como única fuente de información para conformar la base de datos en la zona de estudio; el periodo definido comprende desde el 01/01/2003 hasta el 31/12/2019. Para descargar cada una de estas imágenes se ingresó al enlace “<https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod16.php>”, una vez dentro, se llenaron los campos correspondientes a los parámetros de búsqueda.

Una vez descargadas las imágenes en formato HDF, utilizando ArcMap se seleccionaron los píxeles de imágenes MODIS del área de estudio los cuales se

clasificaron en 8 grupos y basados en la observación previa de aéreas con y sin cobertura forestal. De este modo se generó una base de datos georeferenciada para el área de estudio; seguidamente se realizó la extracción de bandas que obedece a cada una de las variables de la evapotranspiración se tomo como única variable de estudio la Evapotranspiración potencial (PET).

Con el fin de tener la información relevante a la evapotranspiración, y organizar el grupo de datos de entrada y hacer más eficiente el proceso se hizo extracción de datos, estos procesos anteriormente mencionados, se realizaron mediante la ejecución de código de lenguaje Phyton (Raul, 2019). Con los datos de ET para cada cobertura identificada, se analizaron estadísticamente los datos correspondientes a cada pixel, por grupos y entre grupos, utilizando el programa Infostat. (Figura 6).

La definición de los grupos se realizo de acuerdo a las categorías de ordenamiento, definidas para la AMEM, de tal forma que los grupos grupo 1, 4, 5, están totalmente inmersos en el área delimitada como del Parque Tinigüa. Por su parte, los grupo 7 y 8 se ubican en la zona de Recuperación para la Producción Sur, mientras que los grupos 2, 3 y 6 se distribuyen entre las dos categorías (Figura 2 a Figura 5).

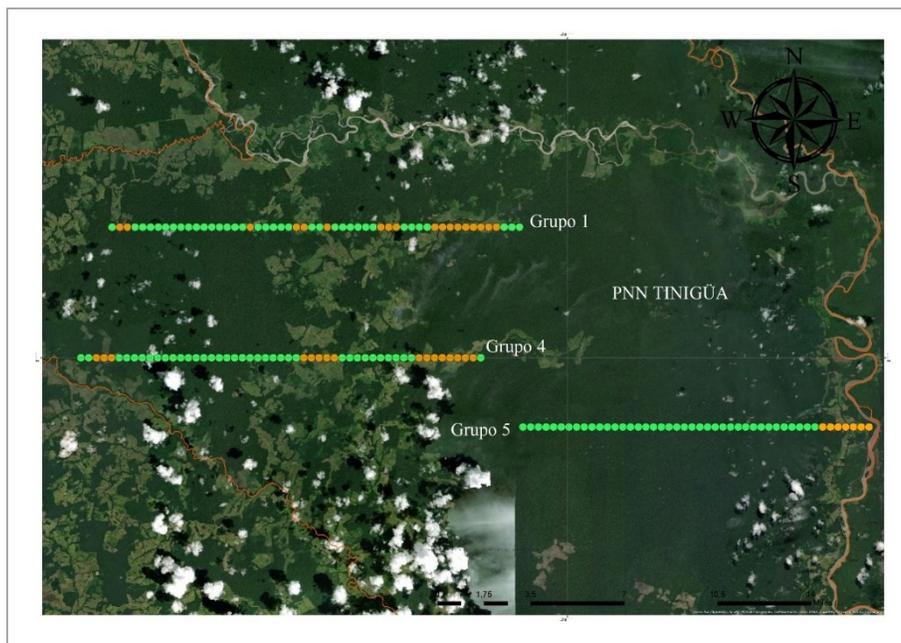


Figura 2. Distribucion de los Grupos 1, 4 y 5, en el area de estudio.

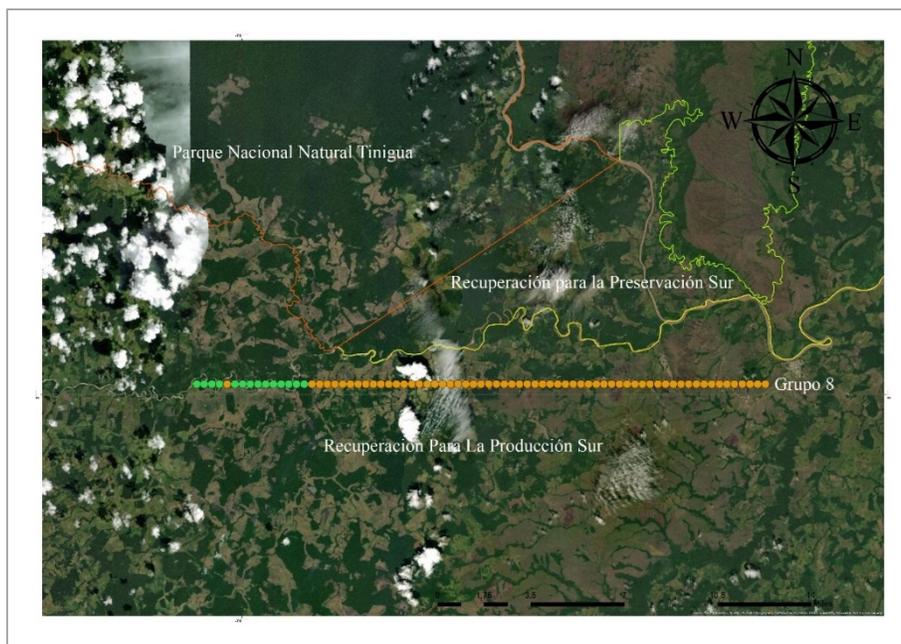


Figura 3. Distribucion del grupo 8, en el area de estudio.

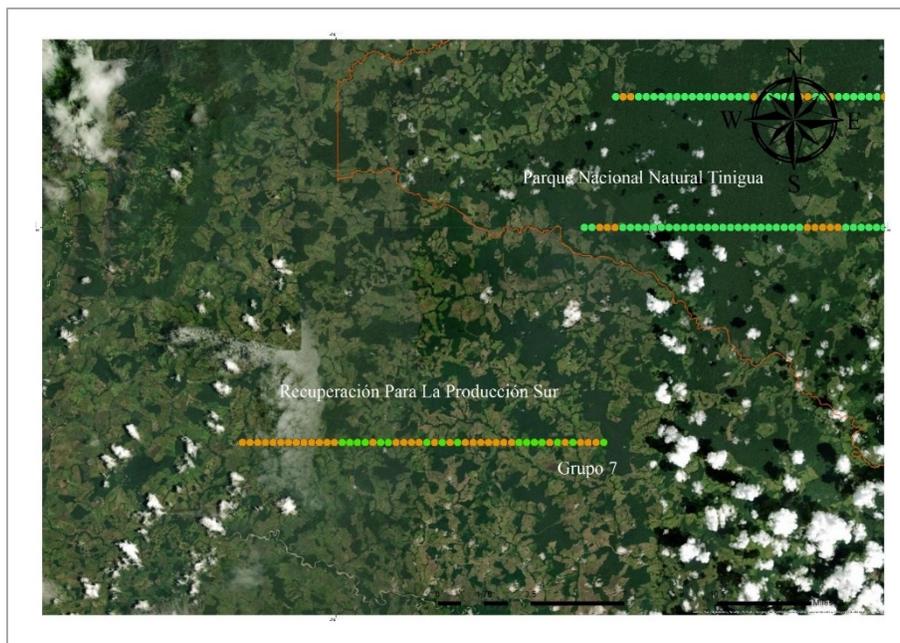


Figura 4. Distribución del grupo 7, en el area de estudio.

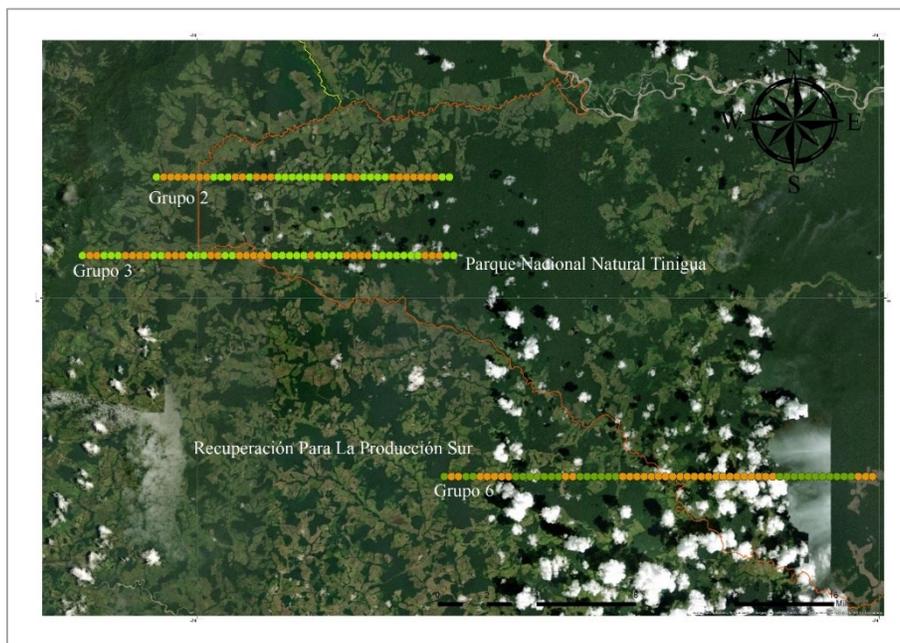


Figura 5. Distribución de los Grupos 2, 3 y 6, en el area de estudio.

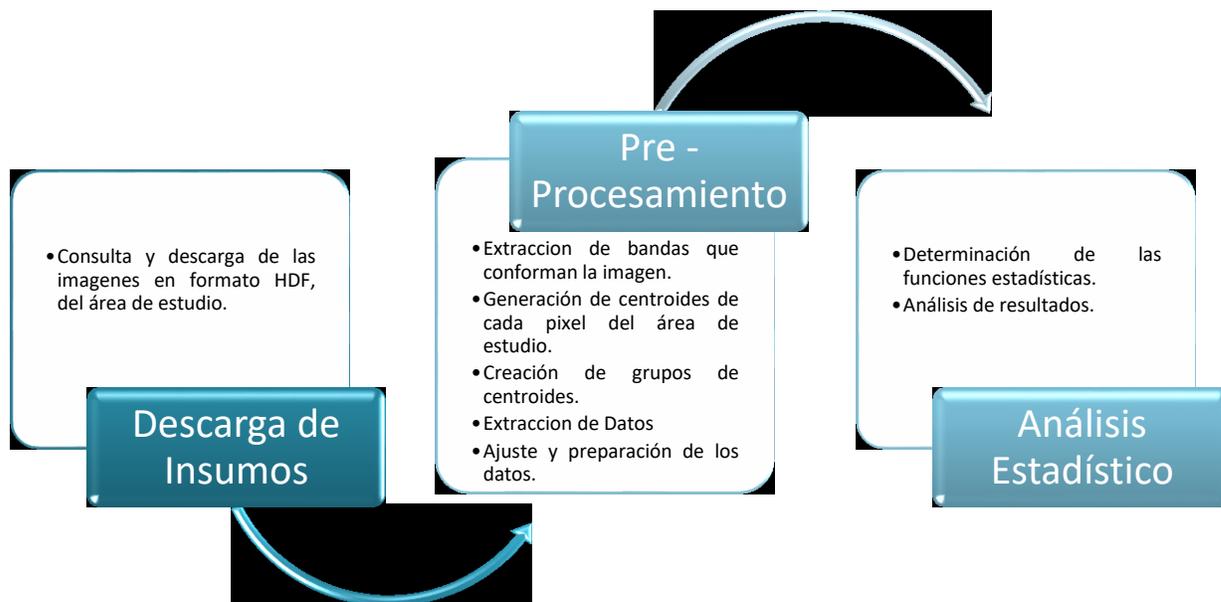


Figura 6. Esquema metodológico

Resultados y discusión.

El análisis de los datos obtenidos de las bandas asociadas a la ET, en las imágenes del sensor MODIS, se hizo de tres formas, partiendo de lo general a lo particular: global, intragrupal e intergrupala.

Medidas de Resumen o Estadísticas básicas

Permite ver el comportamiento del total de los datos obtenidos, como un único universo.

Las unidades de resumen del análisis global de la variable PET, fueron obtenidas conforme al estado de la cobertura, teniendo en cuenta que CONSERVADO, hace referencia a la cobertura de bosques sin intervenir, y TRANSFORMADO, se refiere a los sitios que originalmente contaban con coberturas de bosque y que han sido intervenidos con actividades agrícolas y ganaderas. A partir de las medidas de resumen se evidencia que el número de registros transformados supera en 2,5% los datos conservados; No obstante, el valor de la media es un poco menor en la cobertura TRANSFORMADO en comparación con la CONSERVADO, lo que puede llevar a confirmar que los procesos de evapotranspiración y las condiciones de humedad del suelo, varían de una cobertura a la otra (Maass et al., 2005) y que en términos generales los cambios climáticos e hidrológicos que se presentan en escalas locales y regionales, obedecen a la deforestación y conversión de bosques en praderas, como lo encontrado por (Yao et al., 2014) en la China Subártica (*Tabla 1*).

Tabla 1. Análisis de la variable PET, por estado del pixel.

Medidas resumen						
Estado	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
C	PET	66388	45,04	9,51	7,80	90,00
T	PET	67987	43,88	9,61	7,10	95,70

Análisis de Varianza

Este análisis permite definir si existen diferencias significativas entre los dos grupos de datos.

Ahora bien, para el análisis de varianza no paramétrica, aplicando la prueba de Kruskal Wallis, se plantean dos hipótesis; 1. Hipótesis Nula, que refiere a que no hay diferencia entre los dos tipos de datos, conservados y transformados; y 2. Hipótesis Alternativa; confirma diferencia entre los dos tipos de datos.

Al aplicar la prueba, la tabla de resultados muestra el valor de la prueba de Kruskal Wallis en H y el valor de la conformidad o significancia asintótica (P), que para el caso, es de 0,9999; es decir, mayor de 0,05, con lo cual se acepta la hipótesis nula, ya mencionada (Tabla 2).

Tabla 2. Prueba de Kruskal Wallis de la variable PET, por Estado del pixel.

Prueba de Kruskal Wallis						
Variable	Estado	N	Medias	D.E.	Medianas	H
PET	C	66388	45,04	9,51	46,20	7909720,23
PET	T	67987	43,88	9,61	44,70	>0,9999

De igual forma, se aplicó la prueba Kruskal Wallis para analizar el comportamiento de la Variable PET, de acuerdo al mes del año, y se obtuvo un valor de significancia asintótica "P" de 0,9999. Adicionalmente, al realizar la partición por tipos de datos (C y T), para

ambos casos, se mantuvo el valor de “P” en 0,9999. mostrando que la variable, consolidada, PET. Por lo que podemos decir que la variable PET, no registra cambios significativos a través de los meses del año, tal como lo indica la (Tabla 3). No obstante, se evidencia que el valor más alto de la media, se registra en el mes de enero, mientras que el más bajo en marzo; lo que esta directamente relacionado con la temperatura de la zona y la humedad del suelo; teniendo en cuenta que las mayores precipitaciones se registran en el mes noviembre y la humedad del suelo todavía se mantiene en enero, mientras que al mes de marzo (terminando la época seca), esta humedad ha disminuido considerablemente. Lo cual concide con lo encontrado por (da Silva et al., 2019), en el sudeste de la Amazonia brasileña, en el estado de Rondônia.

Tabla 3. Prueba de Kruskal Wallis de la variable PET, por meses del año.

Variable	Mes	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
PET	1	18933	52,50	7,59	53,20	8681592,77	>0,9999
PET	2	11600	46,35	10,99	48,10		
PET	3	8872	35,54	9,03	33,00		
PET	4	5700	37,51	9,91	37,50		
PET	5	6202	37,67	8,14	38,90		
PET	6	7014	37,97	7,80	38,80		
PET	7	8071	40,84	7,37	41,90		
PET	8	12312	45,67	7,43	47,60		
PET	9	14678	49,41	6,51	50,00		
PET	10	10815	46,36	6,18	47,10		
PET	11	12324	43,10	7,57	43,40		
PET	12	17854	42,74	8,94	43,70		

Teniendo en cuenta que la anterior prueba, no evidencia la existencia de diferencias, se procedió a evaluar el comportamiento de los Estados de la variable PET (C y T), de acuerdo al mes del año; y se encontró que el valor de la significancia asintota “P” para el mes de abril es de 0,3338 y para mayo de 0,3162. Como son superiores al 0,05, se acepta la hipótesis nula para dichos meses, indicando que no hay diferencia significativa entre los dos tipos de datos, lo cual coincide con el inicio de la época de lluvias. Para los meses

restantes del año, el valor de la significancia asíntota “P”, es de 0,001; es decir que se encuentra por debajo del 0,05, por lo tanto se asume la hipótesis alterna, y por consiguiente la existencia de diferencia significativa entre los datos conservados y transformados (Figura 7).

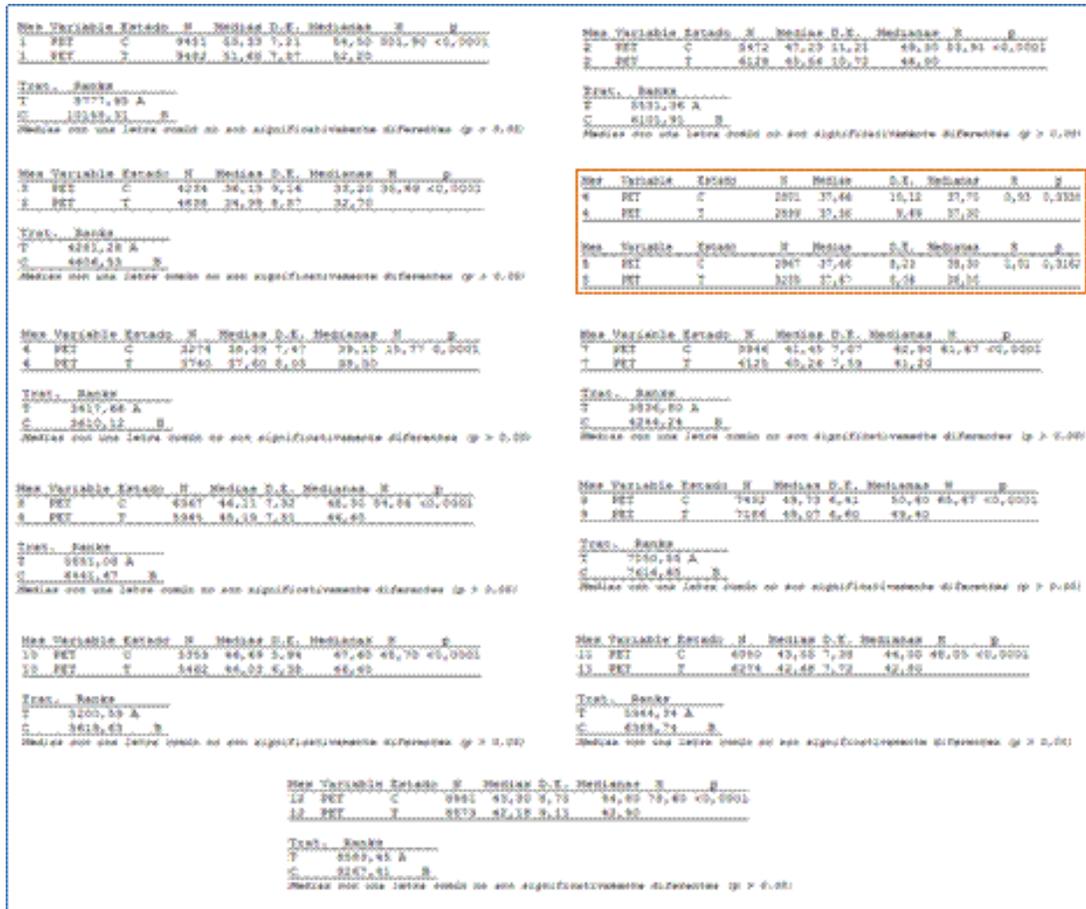


Figura 7. Prueba de Kruskal Wallis para el Estado de la variable PET, por meses del año.

Análisis Intragrupal

Se considera cada grupo como un universo de datos independiente.

Para el grupo 1, se encontró que los valores promedio anual de PET (mm), para el estado de cobertura conservada, fueron superiores en todos los años (2003 a 2019), en comparación con las transformadas (Figura 8). En el grupo 2, el comportamiento es

similar , con excepción del año 2003, en donde se presenta un promedio anual inferior en la cobertura conservada (Figura 9). Para al grupo 3, se evidencia el mismo comportamiento de las coberturas conservadas con una marcada diferencia en el año 2015 (Figura 10). En el año 2007 se evidencia que el promedio PET anual en el estado Conservado, es menor que en el estado transformado, en el grupo 4 (Figura 11). Como era de esperar en el grupo 5, valores de PET promedio anual, en la cobertura conservada son muy superiores en comparación con las coberturas transformadas (Figura 12). En el grupo 6 la PET es similiar a los demás grupos con una pequeña variación en el 2005 (Figura 13). En el grupo 7, la cobertura conservada, presenta valores promedio anuales, menores en los años 2006 y 2008, en comparación con la cobertura transformada (Figura 14). Finalmente en el grupo 8, se evidencio que el promedio de la PET, en ambas coberturas fue similar, con menos valor de promedio de PET en conservados para el año 2014 (Figura 15).

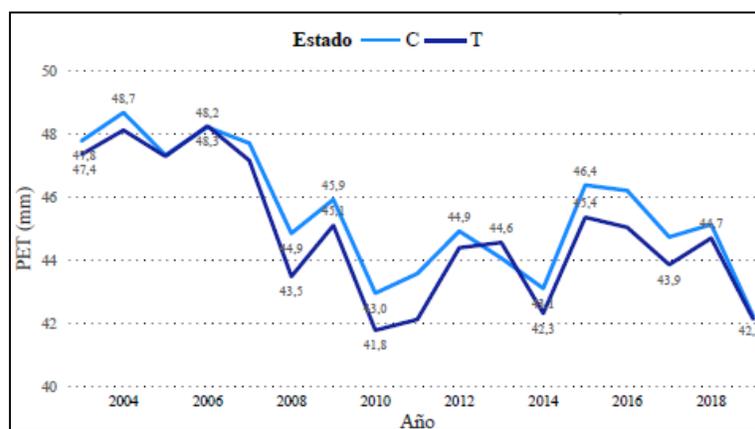


Figura 8. PET Media Anual Grupo 1(Periodo 2003 – 2019)

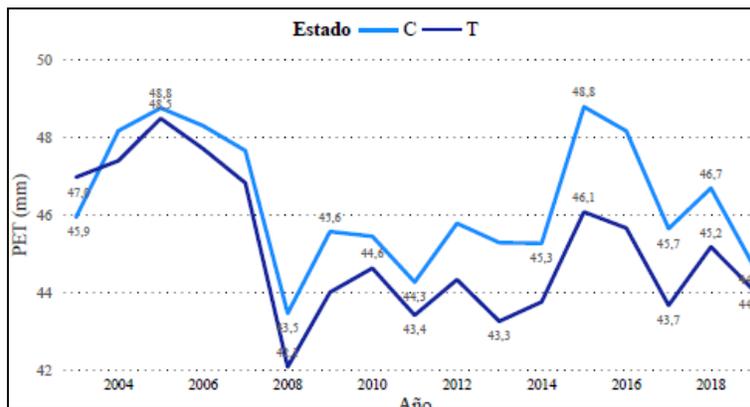


Figura 9. PET Media Anual Grupo 2(Periodo 2003 – 2019)

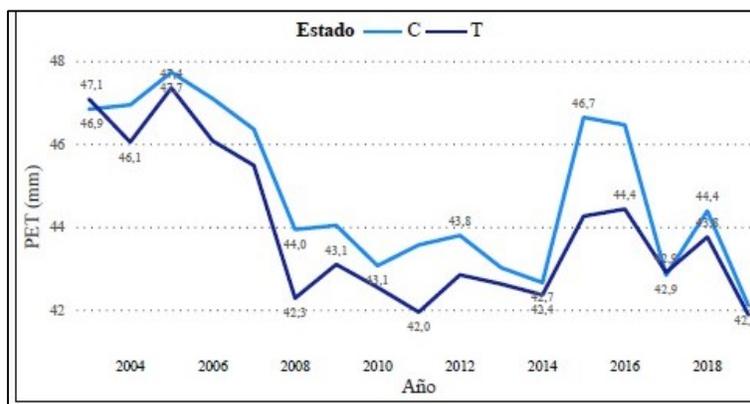


Figura 10. PET Media Anual Grupo 3 (Periodo 2003 – 2019)

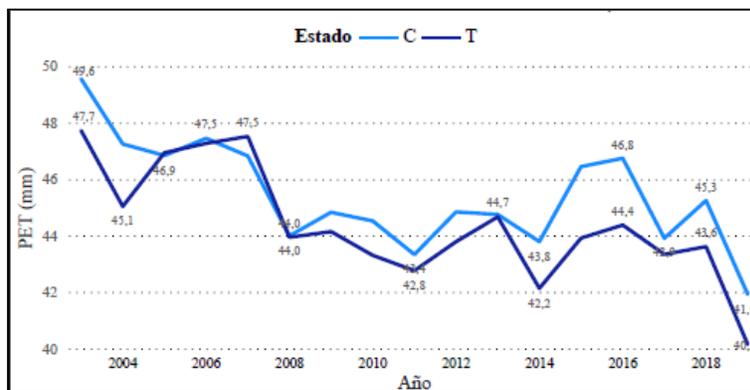


Figura 11. PET Media Anual Grupo 4 (Periodo 2003 – 2019)

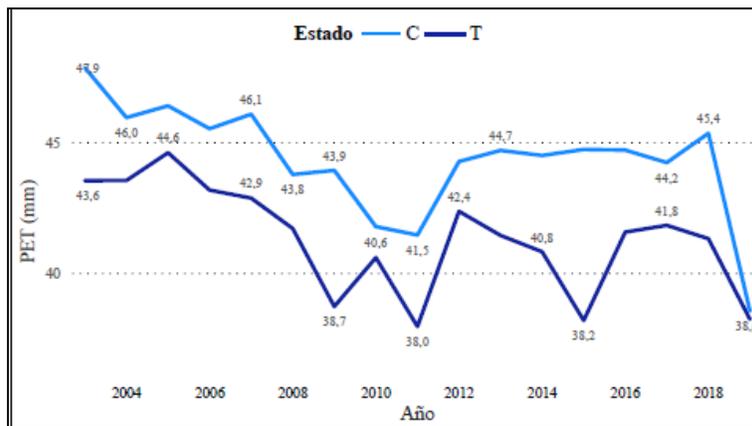


Figura 12. PET Media Anual Grupo 5 (Periodo 2003 – 2019)

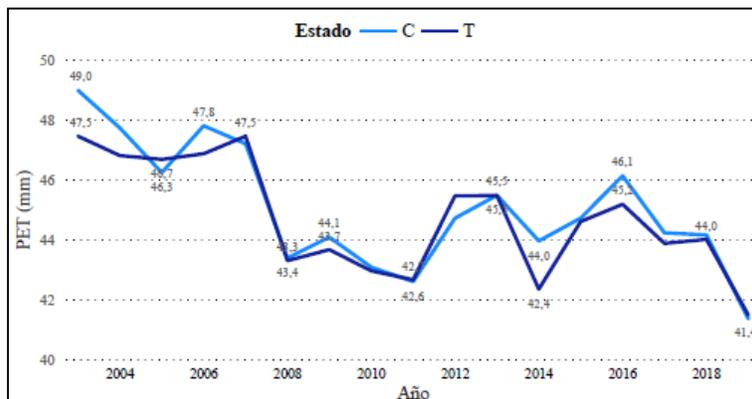


Figura 13. PET Media Anual Grupo 6 (Periodo 2003 – 2019)

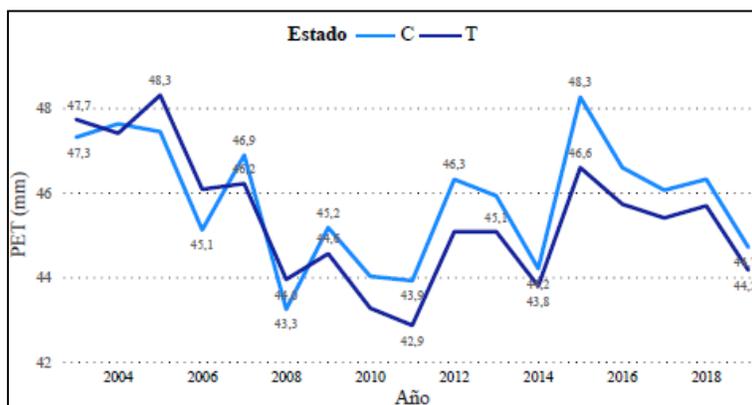


Figura 14. PET Media Anual Grupo 7 (Periodo 2003 – 2019)

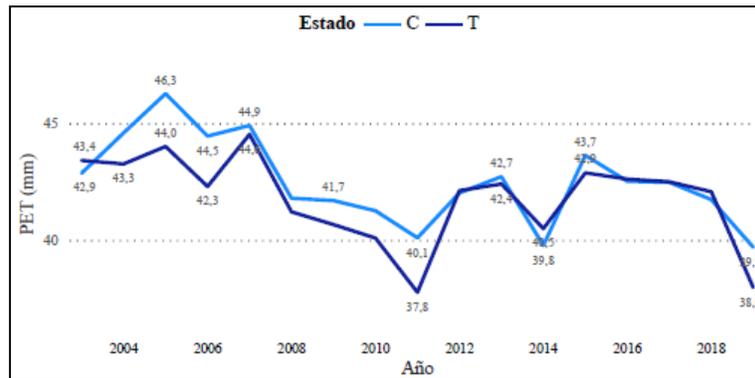


Figura 15. PET Media Anual Grupo 8 (Periodo 2003 – 2019)

Análisis de Varianza por grupos de trabajo

Teniendo en cuenta la Hipótesis Nula y la Hipótesis Alterna. En los cuadros de varianza aplicando la prueba Kruskal Wallis, se puede evidenciar que en todos los casos el valor de “P” es inferior a 0,05, y que el del estado de las variables presentan letras diferentes (A para los datos Transformados y B para los Conservados); por lo tanto, se acepta la Hipótesis Alterna, que significa que los dos tipos de datos (T y C), presentan diferencias significativas entre ellos, al interior de los grupos (

Tabla 4 a Tabla 11).

Tabla 4. Prueba de Kruskal Wallis Grupo 1.

Grupo	Variable	Estado	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Grupo1	PET	C	11124	45,52	9,29	46,80	26,03	<0,0001
Grupo1	PET	T	6071	44,88	8,90	46,00		
Trat.		Ranks						
T	8336,59	A						
C	8740,67	B						
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)								

Tabla 5. Prueba de Kruskal Wallis Grupo 2.

Grupo	Variable	Estado	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Grupo2	PET	C	6448	46,38	9,68	47,60	60,48	<0,0001
Grupo2	PET	T	7357	45,21	9,27	46,00		

Trat.	Ranks
T	6656,06 A
C	7184,76 B

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

Tabla 6. Prueba de Kruskal Wallis Grupo 3.

Grupo	Variable	Estado	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Grupo3	PET	C	8889	44,85	9,26	46,00	48,48	<0,0001
Grupo3	PET	T	7867	43,99	9,16	44,90		

Trat.	Ranks
T	8101,94 A
C	8623,26 B

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

Tabla 7. Prueba de Kruskal Wallis Grupo 4.

Grupo	Variable	Estado	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Grupo4	PET	C	11036	45,43	9,23	46,90	46,93	<0,0001
Grupo4	PET	T	4986	44,40	9,29	45,80		

Trat.	Ranks
T	7639,09 A
C	8179,75 B

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

Tabla 8. Prueba de Kruskal Wallis Grupo 5

Grupo	Variable	Estado	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Grupo5	PET	C	11104	44,41	9,77	45,30	175,34	<0,0001
Grupo5	PET	T	2239	41,33	10,34	42,00		

Trat.	Ranks
T	5688,66 A
C	6870,28 B

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

Tabla 9. Prueba de Kruskal Wallis Grupo 6

Grupo	Variable	Estado	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Grupo6	PET	C	7867	45,06	9,21	46,30	7,28	0,0083
Grupo6	PET	T	10504	44,76	9,32	45,90		
<hr/>								
Trat.		Ranks						
T	9094,63	A						
C	9308,00	B						
<hr/>								
<i>Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)</i>								

Tabla 10. Prueba de Kruskal Wallis Grupo 7

Grupo	Variable	Estado	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Grupo7	PET	C	5187	45,80	9,94	46,40	4,95	0,0211
Grupo7	PET	T	10502	45,40	9,71	46,10		
<hr/>								
Trat.		Ranks						
T	7788,49	A						
C	7959,42	B						
<hr/>								
<i>Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)</i>								

Tabla 11. Prueba de Kruskal Wallis Grupo 8

Grupo	Variable	Estado	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Grupo8	PET	C	4518	42,60	9,53	43,30	25,20	<0,0001
Grupo8	PET	T	18252	41,88	9,80	42,20		
<hr/>								
Trat.		Ranks						
T	11276,70	A						
C	11825,04	B						
<hr/>								
<i>Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)</i>								

Análisis Intergruparal

Compara el comportamiento de la variable entre los diferentes grupos.

Estadísticas de Resumen

El análisis evidencia que, los valores de la media en los datos transformados son más altos en el grupo 7, pese a que en el grupo 8 se presentan el mayor número de datos, en

esta condición. Esto se debe a que el grupo se localiza en la zona categorizada como, de recuperación para la producción sur, en donde se observa mayor intervención antropica. En cuanto a los datos conservados, el mayor valor de la media se presenta en el grupo 2, y el menor en el grupo 8, aunque el grupo 5 cuenta con el mayor registro de conservados frente a transformados, ya que se ubica dentro de la zona de menor intervención en el Parque Tinigüa (Tabla 12 y Figura 16).

Tabla 12. Resultado de la variable PET, respecto a los grupos de trabajo

Grupo	Estado	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
Grupo1	C	PET	11124	45,52	9,29	17,90	86,00
Grupo1	T	PET	6071	44,88	8,90	17,90	65,20
Grupo2	C	PET	6448	46,38	9,68	19,10	81,80
Grupo2	T	PET	7357	45,21	9,27	18,30	85,40
Grupo3	C	PET	8889	44,85	9,26	7,80	81,80
Grupo3	T	PET	7867	43,99	9,16	17,80	93,40
Grupo4	C	PET	11036	45,43	9,23	15,40	86,90
Grupo4	T	PET	4986	44,40	9,29	18,00	85,40
Grupo5	C	PET	11104	44,41	9,77	14,50	85,20
Grupo5	T	PET	2239	41,33	10,34	14,20	84,40
Grupo6	C	PET	7867	45,06	9,21	20,00	65,00
Grupo6	T	PET	10504	44,76	9,32	7,60	82,70
Grupo7	C	PET	5187	45,80	9,94	17,80	90,00
Grupo7	T	PET	10502	45,40	9,71	17,50	95,70
Grupo8	C	PET	4518	42,60	9,53	16,10	86,60
Grupo8	T	PET	18252	41,88	9,80	7,10	89,20

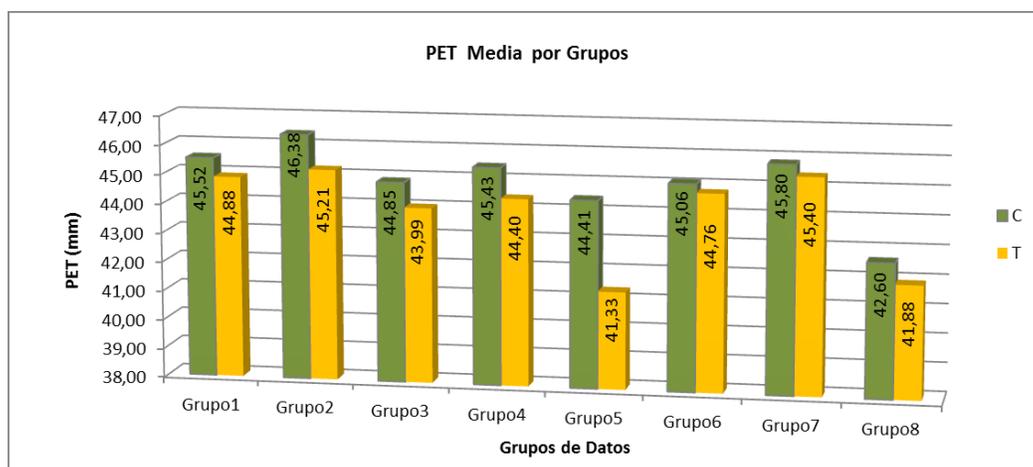


Figura 16. Análisis de la variable PET, respecto a los grupos de trabajo.

Análisis de Varianza

Para el caso se evaluó el comportamiento de la variable PET, por Grupos de trabajo, particionado en los doce (12) meses del año. Este ejercicio, permitió evidenciar que existen diferencias significativas entre los grupos en cada uno de los meses del año, pues para todos los meses el valor de la significancia asíntota “P”, fue de 0,0001. No obstante, se encontró que, en cuanto a la similitud de los datos (valores de la media), Los grupos 1, 4 y 6 presentan similitudes en los meses de julio, agosto, octubre y noviembre. Mientras que los Grupos 2 y 5, presentan diferencias con el resto de grupos los meses de enero, agosto, septiembre, octubre y noviembre. El grupo 3 no presenta similitudes con el resto de los grupos, en los meses de enero y mayo. El grupo 8 presenta similitudes con otros grupos en febrero, mayo y junio. El grupo 7 presenta total diferencia con los otros grupos en los meses de enero, septiembre y noviembre. Así mismo, el mes en que menos similitudes se registran es enero y el de mayores similitudes entre grupos es marzo (Tabla 13 a Tabla 24).

Tabla 13. Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de enero

Trat.	Ranks	
Grupo8	8087,086	A
Grupo3	8702,479	B
Grupo7	9245,012	C
Grupo2	9660,616	D
Grupo6	9986,082	E
Grupo1	10009,639	E
Grupo4	10065,915	E
Grupo5	10526,007	F

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

Tabla 14. Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de febrero

Trat.	Ranks
Grupo8	5245,650 A
Grupo3	5263,052 A B
Grupo2	5326,417 A B
Grupo7	5502,994 B
Grupo5	6223,242 C
Grupo6	6230,946 C
Grupo4	6514,986 D
Grupo1	6524,179 D

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

Tabla 15. Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de marzo

Trat.	Ranks
Grupo8	3601,402 A
Grupo3	4333,827 B
Grupo6	4509,395 B C
Grupo5	4573,834 C D
Grupo7	4583,048 C D
Grupo4	4697,527 C D
Grupo1	4747,287 D
Grupo2	4751,841 D

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

Tabla 16. Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de abril

Trat.	Ranks
Grupo5	2245,118 A
Grupo8	2525,326 B
Grupo6	2703,995 C
Grupo4	2894,987 D
Grupo3	2968,204 D E
Grupo2	2992,824 D E
Grupo1	3107,455 E F
Grupo7	3265,175 F

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

Tabla 17. Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de mayo

Trat.	Ranks
Grupo5	2290,738 A
Grupo8	2639,420 B
Grupo4	2808,528 B
Grupo6	3126,765 C
Grupo1	3183,423 C
Grupo3	3392,486 D
Grupo7	3718,734 E
Grupo2	3862,128 E

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

Tabla 18. Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de junio

Trat.	Ranks
Grupo8	2880,900 A
Grupo5	2930,502 A
Grupo6	3366,955 B
Grupo3	3694,447 C
Grupo4	3698,321 C
Grupo7	3806,748 C D
Grupo1	3922,211 D
Grupo2	4208,242 E

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

Tabla 19. Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de julio

Trat.	Ranks
Grupo8	3106,507 A
Grupo5	3614,845 B
Grupo3	4117,326 C
Grupo7	4163,481 C
Grupo6	4197,816 C D
Grupo1	4386,867 D E
Grupo4	4432,619 E F
Grupo2	4625,826 F

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

Tabla 20. Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de agosto

Trat.	Ranks
Grupo8	4771,889 A
Grupo5	5499,365 B
Grupo6	6332,705 C
Grupo1	6451,306 C D
Grupo4	6492,776 C D E
Grupo3	6636,891 D E
Grupo7	6740,104 E
Grupo2	7411,007 F

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

Tabla 21. Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de septiembre

Trat.	Ranks
Grupo8	5214,273 A
Grupo5	6083,708 B
Grupo6	7452,841 C
Grupo3	7808,617 D
Grupo4	7827,680 D
Grupo1	7923,019 D
Grupo7	8336,557 E
Grupo2	8740,126 F

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

Tabla 22. Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de octubre

Trat.	Ranks				
Grupo8	3837,162	A			
Grupo5	4177,290		B		
Grupo6	5557,356			C	
Grupo1	5606,824			C	D
Grupo4	5802,843				D
Grupo3	6049,424				E
Grupo7	6200,014				E
Grupo2	6607,205				F

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

Tabla 23. Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de noviembre

Trat.	Ranks				
Grupo8	5083,224	A			
Grupo5	5803,004		B		
Grupo1	6134,057			C	
Grupo4	6214,492			C	
Grupo3	6218,261			C	
Grupo6	6222,274			C	
Grupo7	6733,707				D
Grupo2	7135,610				E

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

Tabla 24. Resultado de diferencias significativas por Grupos, en el mes de diciembre

Trat.	Ranks				
Grupo8	7711,734	A			
Grupo5	8950,647		B		
Grupo6	9105,369		B	C	
Grupo3	9129,566		B	C	
Grupo1	9333,328			C	D
Grupo4	9445,303				D
Grupo7	9642,827				D E
Grupo2	9825,948				E

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

Conclusiones

- Los resultados estadísticos por grupos y cobertura, evidencian que los valores medios de ET, para todos los casos, son mayores en las zonas de bosque en comparación con las áreas deforestadas.
- A pesar de tener un número mayor de datos; en ningún grupo, el valor de la media de los transformados supera la de los datos conservados; por lo tanto se confirma la hipótesis de que la evapotranspiración es mayor en zonas con coberturas de bosque o conservadas.
- (Rangel-Ch., 1998) refiere que, las temperaturas más bajas en la zona de estudio se registran en el mes de diciembre, mientras que la más altas del año se presentan en enero. Así las cosas, y de acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis; se infiere que la precipitación, la humedad del suelo y la temperatura son variables que inciden directamente en el valor de la ET de la zona; y es que es en el mes de enero cuando se presenta el valor de ET más alto de todo el año, cuando el suelo aun conserva humedad, luego de su temporada de lluvias; mientras que el más bajo se registra en marzo, al final de la temporada seca, cuando la humedad del suelo es mucho menor.
- A pesar de que el cálculo de la ET por métodos asociados a la percepción remota, y para este caso en particular, empleando el sensor MODIS, es una estimación de los valores de ET, se puede decir que los resultados guardan concordancia con las condiciones de temperatura y precipitación de la zona; y como datos estimados son válidos. Sin embargo, no obedecen a la realidad; teniendo en cuenta que

debido a la amplitud de la resolución espacial (500 m), el valor medio de la ET asociado a algunos pixel puede contener información de diversas coberturas, como suelos descubiertos, zonas deforestadas, zonas de cultivos, entre otras; alterando así, su valor. Es de aclarar que dicha condición no se da para todos los pixeles y que la probabilidad de ocurrencia es mayor en los límites de las coberturas.

- Los valores promedio anual de ET, mas altos y mas bajos en la cobertura conservado, se encontraron en el grupo 4 en el año 2003 y en el grupo 5 año 2019, respectivamente; comportamiento que puede estar relacionado por un lado, con las medidas de ordenación para la conservación, que comunidad e instituciones pactaron desde finales de los años 90, en la zona de mayor conflicto de uso del Parque Nacional Natural Tinigüa (ubicación del grupo 4); y con el aumento de la deforestación en el departamento del Meta desde el año 2013, que vienen afectando de manera indirecta la zona menos intervenida del parque (ubicación del grupo 5).
- En la cobertura transformados los valores promedio anual de ETP mas altos, se encontraron en el grupo 2 año 2005 y los mas bajos en el grupo 8 año 2011; lo que confirma que los mayores registros de ET se encuentran en los primeros años de los dos mil; así mismo, los valores mas bajos se registran iniciando la segunda década de los dos mil, lo que probablemente esta relacionado con el aumento de conflictos de uso del suelo, entre otras problemáticas ambientales y sociales de la región.

Recomendaciones

Aunque las tecnologías de teledetección y/o percepción remota, son una gran herramienta al momento de elaborar estudios de este tipo; es recomendable combinarlo con métodos tradicionales, así como contar con información in situ, como históricos anuales y mensuales de temperatura (°C), precipitación (mm), e información de la composición florística de la zona de estudio, teniendo en cuenta que cada cobertura cuenta con características diferentes. Lo anterior, con el objeto de realizar un estudio más fiable y detallado.

Lista de referencias

- Amaral, G., Bushee, J., Cordani, U. G., KAWASHITA, K., Reynolds, J. H., ALMEIDA, F. F. M. D. E., de Almeida, F. F. M., Hasui, Y., de Brito Neves, B. B., Fuck, R. A., Oldenzaal, Z., Guida, A., Tchalenko, J. S., Peacock, D. C. P., Sanderson, D. J., Rotevatn, A., Nixon, C. W., Rotevatn, A., Sanderson, D. J., ... Junho, M. do C. B. (2013). Aplicaciones del sensor MODIS para el monitoreo del territorio. In *Journal of Petrology* (Vol. 369, Issue 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Anderson, L. O. (2016). SENSOR MODIS : UMA ABORDAGEM GERAL SENSOR MODIS : UMA ABORDAGEM GERAL Liana Oighenstein Anderson Marcelo Lopes Latorre Yosio Edemir Shimabukuro Egídio Arai Osmar Abílio de Carvalho Júnior São José dos Campos. *Incluye Información de La SE Función Pública, January 2016*, 58.
- Calvo, G. H. (2019). *ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN A ESCALA REGIONAL MEDIANTE TELEDETECCIÓN SATELITAL Tesis de Maestría presentada por.*
- Corporación Para El Desarrollo Sostenible del Área Manejo Especial la Macarena - CORMACARENA. (2020). *PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL REGIONAL PGAR 2020 - 2031* (p. 80). file:///C:/Users/laddy/Downloads/PLAN GESTION AMBIENTAL REGIONAL 2020-2031.pdf
- Coruña, U. D. a. (2011). *EN ÁREAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES TESIS DOCTORAL RÉGIMEN HÍDRICO DEL SUELO Roger Manuel Mestas Valero.*
- da Silva, H. J. F., Gonçalves, W. A., & Bezerra, B. G. (2019). Comparative analyzes and use of evapotranspiration obtained through remote sensing to identify deforested areas in the Amazon. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 78(January), 163–174. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.01.015>
- Flores, F., Perez, R., & Lillo, M. (2007). Comparación de Tres Modelos de Estimación de Evapotranspiración Mediante Imágenes MODIS. *TELEDETECCIÓN - Hacia Un Mejor Entendimiento de La Dinámica Global y Regional*, 291–298.
- Gómez-Blanco, J. A., & Cadena, M. C. (2018). VALIDACIÓN DE LAS FÓRMULAS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET_o) PARA COLOMBIA. *Ideam*, 1–47.
- Jaramillo, A. (2006). Evapotranspiración de referencia en la Región Andina de Colombia. *Cenicafe*, 57(4), 288–298.
- L, Z., W.R., D., & G.R., W. (1999). CATCHMENT HYDROLOGY PREDICTING THE EFFECT OF VEGETATION CHANGES ON CATCHMENT AVERAGE WATER BALANCE Predicting the effect of vegetation changes on. *Coopera Tive Research Centre for Catchment Hydrology, TECHNICAL(November), TECHNICAL REPORT 99/12*, p. 42.
- López-Moreno, J. I., Hess, T. M., & White, S. M. (2009). Estimation of reference evapotranspiration in a mountainous mediterranean site using the penman-monteith equation with limited meteorological data. *Pirineos*, 164, 7–31. <https://doi.org/10.3989/pirineos.2009.v164.27>
- López Avendaño, J. E., Díaz Valdés, T., Watts Thorp, C., Rodríguez, J. C., Velázquez

- Alcaráz, T. D. J., & Partida Ruvalcaba, L. (2017). Uso de datos satelitales MODIS y balance de energía para estimar la evapotranspiración. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(4), 773. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i4.6>
- Maass, J. M., Balvanera, P., Castillo, A., Daily, G. C., Mooney, H. A., Ehrlich, P., Quesada, M., Miranda, A., Jaramillo, V. J., García-Oliva, F., Martínez-Yrizar, A., Cotler, H., López-Blanco, J., Pérez-Jiménez, A., Búrquez, A., Tinoco, C., Ceballos, G., Barraza, L., Ayala, R., & Sarukhán, J. (2005). Ecosystem services of tropical dry forests: Insights from long-term ecological and social research on the Pacific Coast of Mexico. *Ecology and Society*, 10(1). <https://doi.org/10.5751/ES-01219-100117>
- Martínez, S. (2002). Modelos y Aproximaciones para la Estimación de la Evapotranspiración con Información Satelital. *Revista de Geografía, Norte Grande*, 29, 107–120.
- Mendoza, M., Bocco, G., López Granados, E., & Bravo, M. (2012). Implicaciones hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del lago de Cuitzeo, Michoacán. *Investigaciones Geográficas*, 49, 92–117. <https://doi.org/10.14350/rig.30448>
- MMA, U., Cormacarena, & ASCAL -G., C. (2004). *Plan De Ordenamiento Territorial Y Desarrollo Alternativo. Primera ed*, 1–212.
- Olivera-Guerra, L., Mattar, C., & Galleguillos, M. (2014). Estimation of real evapotranspiration and its variation in Mediterranean landscapes of central-southern Chile. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 28(1), 160–169. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.11.012>
- Omar, L., Mariano, Norzagaray, & Norma, M. (2016). DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL ETP Y DE REFERENCIA ETO COMO INDICADOR DEL BALANCE HÍDRICO DEL CORAZÓN AGRÍCOLA DE MÉXICO. *Juyyaania, Universidad Autónoma Indígena de México, Vol. 2, Nú*(January 2014).
- Rangel-Ch., O. (1998). Flora Orinoquense. *Colombia Orinoco, 1958*, 103–133.
- Raul, E. (2019). *IMPACTO DE LA DEFORESTACIÓN SOBRE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL EN LA REGIÓN AMAZÓNICA COLOMBIANA*. 0–84.
- Taera, S. (2011). *Evaporación, evapotranspiración y humedad del suelo 4.1*. 1–36.
- Ulises, R. (2005). *Relaciones hídricas en dos especies forestales simpátricas de un bosque semiárido: potencial hídrico, transpiración, conductancia “Título de la tesis” estomática y eficiencia del uso del agua como indicadores del (Tratar de hacerlo comprensible para el pú.*
- von Randow, R. C. S., von Randow, C., Hutjes, R. W. A., Tomasella, J., & Kruijt, B. (2012). Evapotranspiration of deforested areas in central and southwestern Amazonia. *Theoretical and Applied Climatology*, 109(1–2), 205–220. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0570-1>
- Wickenkamp, I., Huisman, J. A., Bogena, H. R., Graf, A., Lin, H. S., Drüe, C., & Vereecken, H. (2016). Changes in measured spatiotemporal patterns of hydrological response after partial deforestation in a headwater catchment. *Journal of Hydrology*, 542, 648–661. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.09.037>

Yao, Y., Liang, S., Cheng, J., Lin, Y., Jia, K., & Liu, M. (2014). Impacts of deforestation and climate variability on terrestrial evapotranspiration in subarctic China. *Forests*, 5(10), 2542–2560. <https://doi.org/10.3390/f5102542>