

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE TEMPERATURAS DEL SATÉLITE
LANDSAT 8 PARA EL ECUADOR CONTINENTAL: CASO DE ESTUDIO EN LAS
PROVINCIAS DE IMBABURA, MANABÍ Y SUCUMBÍOS EN EL AÑO 2019 Y 2020”**

Realizado por:

MELISSA GIULIANA RODRÍGUEZ GARCÍA

Director del proyecto

JOSÉ SALAZAR, MSc.

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Quito, septiembre de 2021

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, MELISSA GIULIANA RODRÍGUEZ GARCÍA, con cédula de identidad #1715474464, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Firmado electrónicamente por:
MELISSA GIULIANA
RODRIGUEZ GARCIA

Melissa Giuliana Rodríguez García

C.I. 1715474464

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE TEMPERATURAS DEL SATÉLITE
LANDSAT 8 PARA EL ECUADOR CONTINENTAL: CASO DE ESTUDIO EN LAS
PROVINCIAS DE IMBABURA, MANABÍ Y SUCUMBÍOS EN LOS AÑOS 2019 Y 2020”**

Realizado por:

MELISSA GIULIANA RODRÍGUEZ GARCÍA

Como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor

JOSE SALAZAR, MSc.

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

FIRMA

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

JUAN CARLOS NAVARRO

MIGUEL MARTINEZ

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, septiembre de 2021

DEDICATORIA

A toda mi familia que me han impulsado en cada paso de mi vida con mucho amor y
paciencia, especialmente a mi mamá y mi hermana.

A mi papá, por darme siempre la fuerza para no rendirme y sonreírle a la vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme estar en esta vida y conocer todas sus bondades, por brindarme la salud y las oportunidades para seguir recorriendo un camino, construyendo un futuro y vivir con armonía.

A mi familia por todos sus valiosos consejos y ánimos en cada escalón de mi vida.

A la Universidad Internacional SEK por impartir grandes conocimientos en el campo de las ciencias ambientales, en especial a mi director de tesis José Salazar MSc. y el comité lector.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. MATERIALES Y MÉTODOS	9
2.2.1. Recopilación de datos de temperatura de las redes estacionarias	11
2.2.2. Selección de imágenes satelitales Landsat 8	12
2.2.3. Estimación de la temperatura superficial terrestre (TST) desde imágenes satelitales	13
3. RESULTADOS.....	19
4. DISCUSIÓN	30
5. CONCLUSIONES	33
6. RECOMENDACIONES.....	34
7. REFERENCIAS.....	35

RESUMEN

El cálculo de la temperatura superficial a partir de imágenes satelitales es posible gracias al desarrollo de la tecnología infrarroja térmica y su implementación en los satélites artificiales. La temperatura de la superficie terrestre (TST), es uno de los parámetros más importantes en el proceso superficial de la interacción tierra-aire y una variable de relevancia para el entendimiento de varios fenómenos medio ambientales. Actualmente, existen distintos programas espaciales de observación de la tierra gratuitos, como Landsat que ofrece una gran variedad de imágenes para el análisis de este tipo de información. En este trabajo se utilizó imágenes del satélite Landsat 8 de las bandas 10 del sensor TIRS y bandas 4 y 5 de OLI por el método de un solo canal para obtener la TST y compararla con información proveniente de estaciones meteorológicas de Sucumbíos, Imbabura y Manabí.

Los resultados reflejan que Landsat 8, en general sobreestima alrededor de 4,5°C de temperatura superficial, lo que demuestra que el uso de Landsat para estimar TST para el Ecuador, no es conveniente. En este sentido, se recomienda, por un lado, incrementar el número de observaciones tanto en las redes estacionarias estudiadas como en varias del país; y por otro realizar investigaciones similares usando sensores de otras características como MODIS, que, de acuerdo a algunos estudios, tiene una sobre estimación menor a 1°C.

Palabras clave: Landsat, Temperatura superficial terrestre, sensor remoto.

ABSTRACT

The calculation of surface temperature from satellite images is possible thanks to the development of thermal infrared technology and its implementation in artificial satellites. Land surface temperature (TST) is one of the most important parameters in the surface process of land-air interaction and a variable of relevance for the understanding of several environmental phenomena. Currently, there are several free space programs for earth observation, such as Landsat, which offers a great variety of images for the analysis of this type of information. In this work, Landsat 8 satellite images of bands 10 of the TIRS sensor and bands 4 and 5 of OLI were used by the single channel method to obtain the TST and compare it with information from meteorological stations in Sucumbíos, Imbabura and Manabí.

The results show that Landsat 8, in general, overestimates about 4.5°C of surface temperature, which demonstrates that the use of Landsat to estimate TST for Ecuador is not convenient. In this sense, it is recommended, on the one hand, to increase the number of observations in the stationary networks studied as well as in several of the country; and on the other hand, to carry out similar investigations using sensors of other characteristics such as MODIS, which, according to some studies, has an overestimation of less than 1°C.

Key words: Landsat, Land surface temperature, remote sensor.

1. INTRODUCCIÓN

La expresión del entorno actual en el que los seres humanos se desarrollan se conoce como “la sociedad de la información”, que se ha posicionado como tal, desde aproximadamente la década de los 80 con el desarrollo tecnológico y la aparición del internet (Burch, 2005). No existe duda alguna de que la revolución tecnológica ha incidido positivamente en la mayoría de campos de estudio, entre los que destaca el geográfico pues ha permitido el desarrollo de técnicas, metodologías y herramientas para el conocimiento de los patrones espaciales que determinan el desarrollo de la sociedad (Siabato, 2018).

En este ámbito crece cada vez más el interés por la observación del espacio geográfico y el entendimiento de sus fenómenos. La necesidad de acceso a esta información ha impulsado el perfeccionamiento de técnicas de recolección de datos, entre las más importantes se encuentra la ciencia de la teledetección, pues está considerada como uno de los recursos más empleados a nivel global para acceder a información de la cobertura terrestre, incluso de aquella que el ojo humano no la percibe (Straschnoy, *et al* 2014).

1.1.La Teledetección

La percepción remota o la teledetección es la técnica para determinar características físicas o biológicas de objetos de la superficie terrestre sin que los instrumentos empleados, que comúnmente son sensores ubicados en plataformas especiales, tengan contacto directo con los objetos (Instituto Geográfico Nacional, sin fecha). Los sensores remotos ubicados en las plataformas registran la radiación electromagnética emitida o reflejada por la superficie terrestre y usan mediciones del espectro electromagnético para caracterizar el paisaje u objeto (Martínez – Vega, *et al* 2010). De este modo, los datos que han sido captados por el sensor se almacenan en un formato digital y luego son recuperados en el centro de control del satélite (Logroño *et al*, 2020).

Con lo mencionado anteriormente, se establece que el sistema de teledetección se compone por tres elementos principales: el sensor, el objeto y el flujo energético que es el puente entre ambos (Ramos, 2020).

En Teledetección espacial la fuente de energía más común es el sol, y se debe tomar en cuenta que cada objeto de la cobertura terrestre, por su naturaleza y sus características propias reaccionan de manera diferente al flujo energético incidente. La energía que es reflejada por los objetos y es captada por el sensor difiere en función de la región del espectroelectromagneto a la que este sea sensible (Martinez *et al*, 2010). La región del espectro visible comprende entre 0.4 y 0,7 micras y contiene todos los colores de la luz que pueden ser percibidos por el ojo humano; la región infrarroja cercana comprende longitudes entre 0.7 y 3 micras; la infrarroja media comprende longitudes de onda entre 3 y 8 micras; la región infrarroja lejana o térmica comprende entre 8 hasta 1000 micras y la microonda entre 1 milímetro y 100 centímetros (Reuter, 2009).

El sistema que compone al sensor es de gran relevancia pues revela su habilidad para registrar la información e implica al menos cuatro manifestaciones: espectral, espacial, radiométrica y temporal. En este sentido, la resolución espacial es la mínima porción del terreno que es representada por un dato (tamaño del píxel sobre terreno); la resolución espectral hace referencia al número y anchura de bandas espectrales que puede discriminar el sensor; la resolución radiométrica indica el número de nivel digital usados al digitalizar la información (bits por píxel) y la resolución temporal mide el tiempo de paso del satélite sobre la vertical de un punto (Pérez y Muñoz, 2006).

1.2.La Teledetección para la estimación de la variable temperatura

Analizando rápidamente la historia, se puede identificar que el lanzamiento del primer satélite comercial fue realizado por Estados Unidos en la década de los 70, y en principio, el uso de este tipo de información suponía un alto costo sin embargo, en la actualidad

existe gran disponibilidad de imágenes satelitales a escala global, regional y local y nuevas tecnologías que hacen que cada vez, más instituciones, empresas y personas incorporen el uso de imágenes satelitales en sus estudios, trabajos o proyectos ya que entre sus grandes ventajas sobresale el acceso fácil y rápido a grandes extensiones de cobertura terrestre, la detección de cambios, el acceso a información de áreas inhabitadas y poco accesibles, el monitoreo de desastres, detección del cambio climático, entre otras (Cuxart y Rodríguez Camino, 2001).

Desde la existencia de la teledetección, la meteorología y la climatología son las ciencias que han hecho mayor uso de la información satelital por las múltiples ventajas que proveen están técnicas en el estudio de la atmosfera, y actualmente su uso es más frecuente puesto que varios sensores son capaces de captar información térmica.

Según Mujabar, 2019 la temperatura de la superficie terrestre (TST) se puede definir como la temperatura de la superficie terrestre normalmente medida en escalas Kelvin o Celsius. También se denota por la temperatura del aire estándar medida por un termómetro blindado 1–2 m por encima de un plano y una superficie de tierra. Esta variable puede verse afectada por muchos parámetros geoquímicos, geológicos, y geofísicos de la superficie terrestre y la atmósfera.

El cálculo de la temperatura de superficie es un proceso clave para determinar las interacciones atmósfera –superficie y flujos de energía entre la atmósfera y el terreno a escalas regional y global (Wan, 2008). Y, hoy en día es un parámetro indispensable para el análisis de diferentes condiciones medioambientales que impactan en el planeta, relacionadas con el cambio climático, la salud, la conservación, entre otras.

Uno de los primeros sensores remotos creado a finales de los 80 con propósitos climáticos, es el denominado Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) a bordo de los satélites de la serie National Oceanic and Atmospheric Administration

(NOAA) del Departamento de Comercio de los Estados Unidos. En principio, su uso tuvo grandes resultados, sin embargo, las limitaciones que presentaban sus características propias, complicaba la obtención adecuada de información por su baja resolución espectral.

Así mismo, uno de los programas de observación satelital que han ido mejorando este tipo de complicaciones y han avanzado de sobremanera para la obtención de datos de temperatura es el llamado Landsat de la NASA. El sistema Landsat ha contribuido significativamente a la comprensión del medio ambiente de la Tierra, generó usos revolucionarios de datos espaciales por parte de la industria comercial de valor agregado y alentó una nueva generación de satélites comerciales que proporcionan imágenes espaciales regionales de alta resolución (Williams, 2006).

LANDSAT 8 es un producto creado especialmente para la toma de información térmica, fue puesto en órbita desde el 11 de febrero de 2013 y está vigente hasta la actualidad, cuenta con 11 bandas espectrales (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Características de Landsat 8

Banda	Descripción	Longitud de onda (um)	Resolución espacial (m)
Banda 1	Aerosol Costero	0,43 - 0,45	30
Banda 2	Azul	0,45 - 0,51	30
Banda 3	Verde	0,53 - 0,59	30
Banda 4	Rojo	0,64 - 0,67	30
Banda 5	Infrarrojo Cercano	0,85 - 0,88	30
Banda 6	SWIR 1	1,57 - 1,65	30
Banda 7	SWIR 2	2,11 - 2,29	30
Banda 8	Pancromático	0,50 - 0,68	15
Banda 9	Cirrus	1,36 - 1,38	30
Banda 10	Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10,60 - 11,19	100
Banda 11	Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11,50 - 12,51	100

Elaborado por: Autor, 2021.

Fuente: Earth Observation System, 2014.

No obstante, toda información obtenida mediante sensores a manera de imagen requiere un procesamiento para perfeccionar la información que pudo distorsionarse por los flujos energéticos y las características físicas y químicas propias del ambiente, que en su mayoría son heterogéneas, como la presencia de vegetación, nubes, entre otros (Mas, 2011). La corrección de estas condiciones es posible mediante el procesamiento y análisis de las imágenes a través de sistemas o algoritmos de procesamiento de imágenes satelitales.

Los modelos que se elaboran para interpretar los datos de Teledetección deberán tener como objetivo eliminar los efectos ocasionados por la variabilidad en las condiciones de captación, la distorsión provocada por la atmósfera, y la influencia de parámetros tales como la posición del Sol, pendiente, exposición, y altitud (Sacristán, 2006). Para la estimación de la temperatura superficial, uno de los mayores inconvenientes es la necesidad de corregir los datos de los efectos debidos a la emisividad de la superficie terrestre y la absorción de la atmósfera.

En concordancia con Jones, *et al* 2014, la temperatura de la superficie terrestre puede ser estimada en condiciones de cielo despejado mediante el infrarrojo, porque la mayoría de los canales del infrarrojo se ven afectados al pasar por las nubes que absorben la energía de los canales.

El método tradicional por el cual varios países acceden a información de tipo climática como la temperatura terrestre es a través redes meteorológicas estacionarias ya sean automáticas o convencionales. De acuerdo al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2021) el Ecuador, posee aproximadamente 130 redes meteorológicas automáticas operativas distribuidas en todo el territorio nacional, sin embargo, como en muchas otras naciones sobre todo de la Región Latinoamericana, el acceso a este tipo de

información y la disponibilidad de datos tanto actuales como histórica es limitada o compleja o en muchos casos, las redes estacionarias no expresan la variabilidad climática real ni las condiciones del microclima (Mujabar, 2019).

Ante esto, la información proveniente de los sensores remotos como los que tiene Landsat 8, se torna en una opción potencial para la recopilación de datos de mayor extensión, de manera rápida y menos costosa.

Con este fin, la validación de información de los sensores de Landsat 8 en comparación con las provenientes de las redes estacionarias, se torna importante ante la posibilidad de obtener un instrumento de acceso a información con mayor nivel de confianza y de fácil uso y acceso.

En Ecuador, no existe un modelo geográfico que precise al cien por ciento la información de temperaturas ni mayor cantidad de estudios similares que demuestren la confianza de tomar datos satelitales de esta variable versus los provenientes de redes meteorológicas. Es así que este estudio comprende una investigación novedosa en este ámbito y puede consolidarse como un insumo útil para obtener información de manera rápida sobre temperaturas para diferentes usos.

Validar la información de los sensores remotos respecto a la información térmica que recopilan las diferentes estaciones meteorológicas del Ecuador Continental, permitiría obtener un modelo confiable para consumir información a partir de Landsat 8, que actualmente es uno de los más usados para identificar temperaturas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Caracterización del área de estudio

El área de estudio comprende las provincias que se mencionan a continuación:

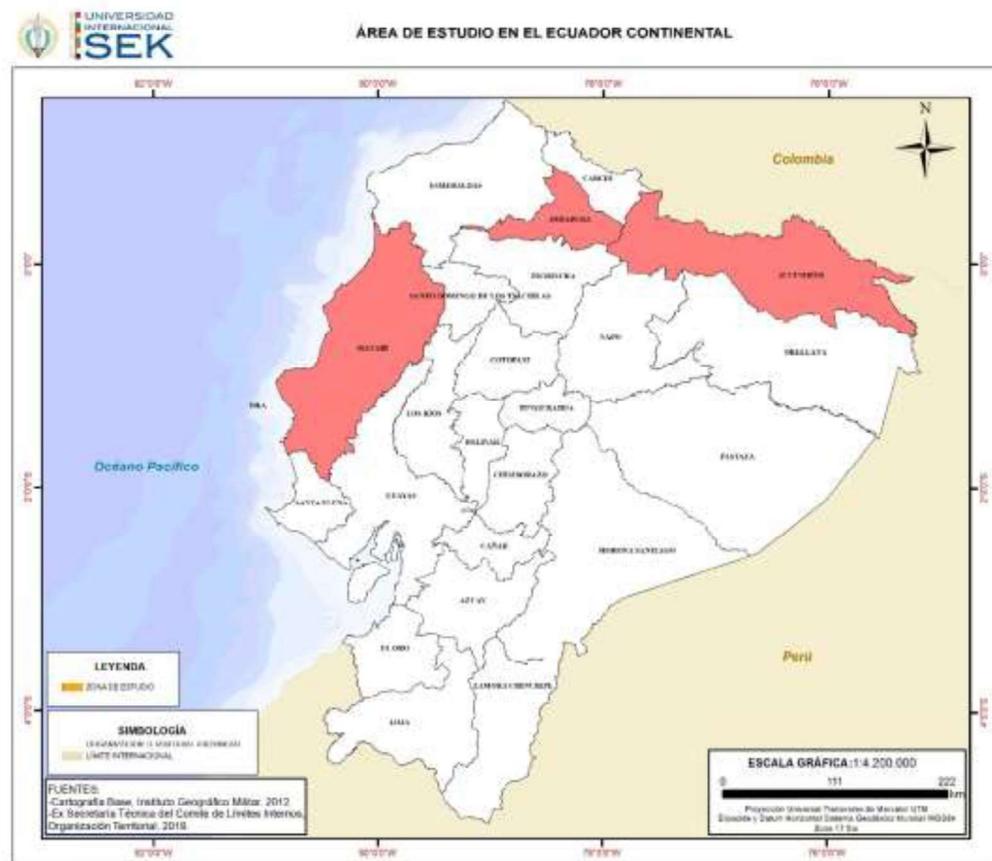
Manabí: Se ubica en la región Costa tiene una superficie de 19.427,60 km² lo que representa el 7,36% del Ecuador y de acuerdo al último censo nacional (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010) posee una población de 1.369.780 habitantes.

Climatológicamente hablando está determinada por la influencia de corriente fría de Humboldt y la corriente ecuatorial de El Niño. El 70% de su territorio se ve influenciado por un clima Mega térmico Húmedo que abarca precipitaciones hasta 2.000 mm, los meses más secos son entre junio a noviembre. La temperatura del aire registra una media de 22,3°C a 23,40°C, una máxima media de 29,20°C a 34,2°C y mínima media de 18,70°C a 19,19°C. La temperatura promedio en el 90% del territorio abarca entre 24 a 26 grados centígrados (Gobierno Provincial de Manabí, 2015).

Imbabura: Se encuentra ubicada en la región Sierra norte con una superficie de 4.619,03 km² y una población de 428.355 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010). En esta provincia se pueden determinar cuatro tipos de clima desde el Ecuatorial de alta montaña donde su temperatura abarca entre 0 a 8 °C y su precipitación entre 1.000 a 2000 mm; el Ecuatorial Meso térmico con temperaturas entre 18 a 24°C y precipitación de 500 mm; el ecuatorial Meso térmico semi húmedo que predomina especialmente en las cabeceras cantonales y abarca temperaturas entre 10 a 20°C y una precipitación de 1.000 mm a 2.000 mm; y el Tropical Mega térmico húmedo que tiene temperaturas entre 15 a 24 °C y precipitaciones que van desde 2.000 mm a 4.000 mm. La época seca abarca los meses desde junio hasta principios de septiembre (Gobierno Provincial de Imbabura, 2015).

Sucumbíos: Con una extensión territorial de 18.059,78 km² esta provincia se encuentra en la región amazónica y posee una población de 211.469 habitantes. De acuerdo Gobierno Autónomo Descentralizado de Sucumbíos (2015), la distribución estacional de lluvias es de tipo ecuatorial, donde los meses más intensos son desde abril a julio con precipitaciones desde 1.000 mm a 6.000 mm, mientras que los meses más secos son desde diciembre a febrero. En cuanto a la temperatura, esta oscila entre 4°C en los lugares más altos hasta los 26,2°C. La variación mensual no es muy significativa ya que su amplitud se ve reflejada en 2 grados. (Gobierno Provincial de Sucumbíos, 2015).

Figura 1. Mapa de ubicación de las provincias de estudio



Elaborado por: Autor, 2021.

2.2.Métodos

2.2.1. Recopilación de datos de temperatura de las redes estacionarias

Para la presente investigación se tomaron en cuenta las redes estacionarias meteorológicas automáticas operativas de las provincias en estudio (Ver figura 2). Imbabura tiene una totalidad de dos redes estacionarias, Sucumbíos tiene una red estacionaria y Manabí posee cinco de las cuáles se escogieron dos (Ver tabla 2). Los datos de la variable temperatura de las redes estacionarias se recopilaron de la página web del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) accediendo a los datos del año 2020 y 2021.

Desde esta fuente también se obtuvo la georreferenciación de las redes meteorológicas automáticas con corte 2021 de las provincias de estudio para, a partir de estas, obtener referencialmente la imagen satelital respecto al lugar de ubicación de la red estacionaria.

Tabla 2. Redes estacionarias

Región	Provincia	Nombre	Propietario	Código	Latitud	Longitud
Sierra	Imbabura	Otavalo	INAMHI	M0105	0,24333	78,25000
	Imbabura	Ibarra - 1	INAMHI	M1240	0,32973	78,13243
Costa	Manabí	Catangallo - Granja UNESUM	INAMHI	M1233	-1,28688	80,72900
	Manabí	Bahía de Caráquez - PUCE	INAMHI	M1217	-0,65938	80,39747
Amazonía	Sucumbíos	Lumbaqui	INAMHI	M1203	0,04056	77,33389

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2021.
Elaborado por: Autor, 2021.

Figura2. Redes estacionarias del área de estudio

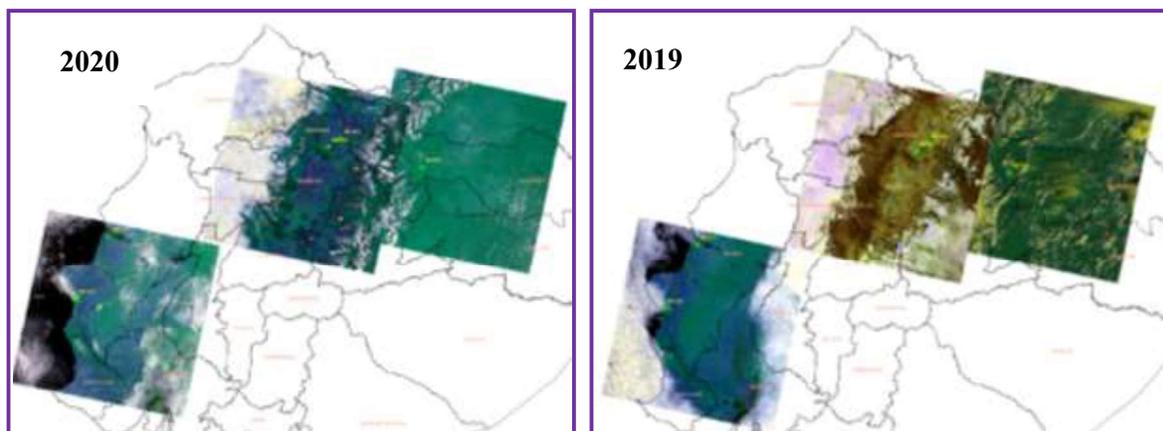


Elaborado por: Autor, 2021.

2.2.2. Selección de imágenes satelitales Landsat 8

Tomando como referencia la ubicación de la red estacionaria y especialmente la disponibilidad de información en la página del Departamento del Interior de los Estados Unidos llamada USGS Earth Explorer se escogieron 6 imágenes de satélite (una por región que abarque el área de estudio para cada año) tomando en cuenta la época seca de cada provincia; que la hora de toma de la imagen sea similar a la hora de toma de las redes estacionarias meteorológicas, y que las imágenes tengan una nubosidad menor al 20%.

Figura 3. Imágenes aplicadas al estudio



Elaborado por: Autor, 2021.

2.2.3. Estimación de la temperatura superficial terrestre (TST) desde imágenes satelitales

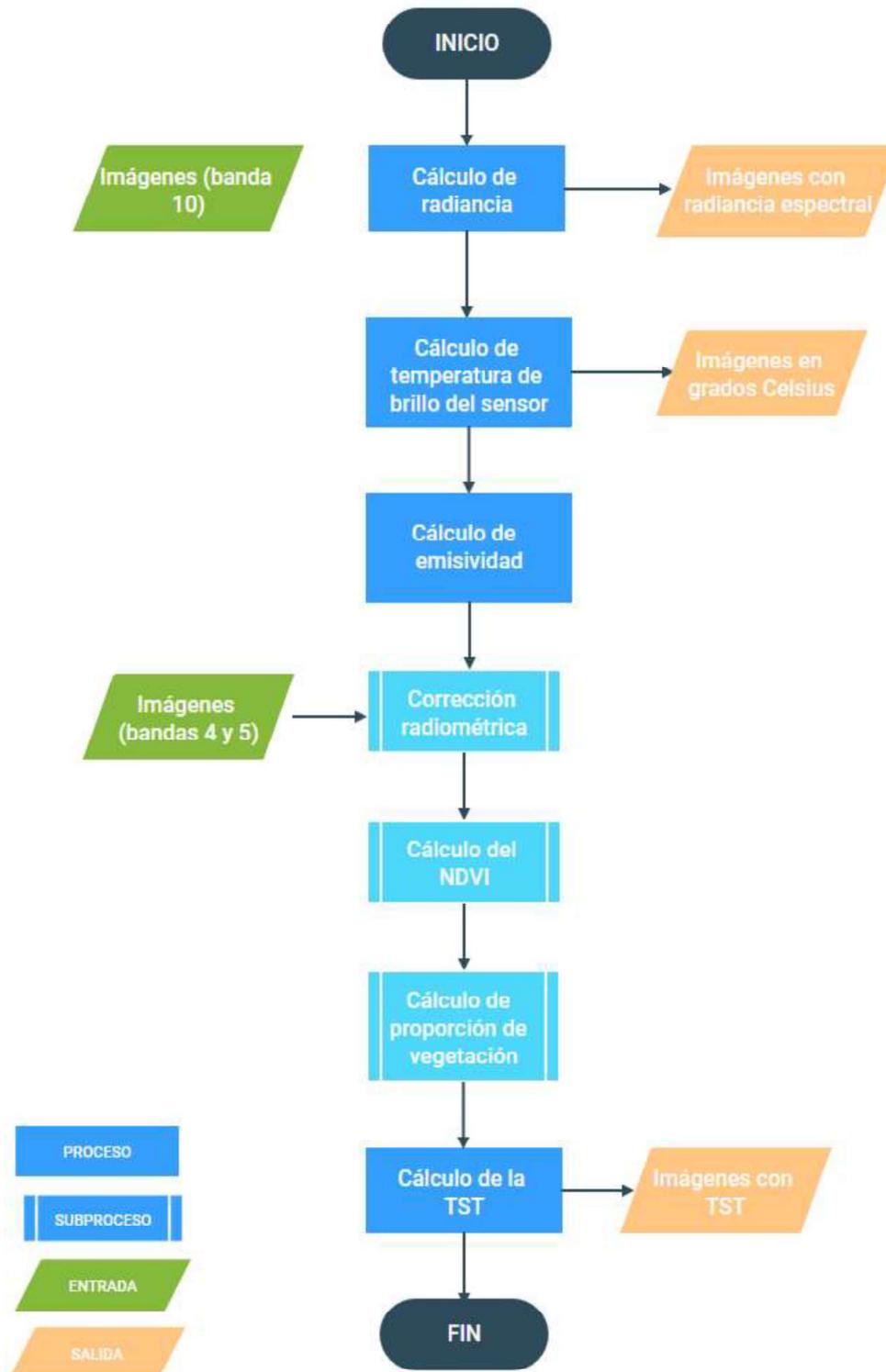
Se utilizó el programa ENVI 5.3.2 que es un software especializado en el procesamiento y análisis de imágenes geospaciales ampliamente usado en el mundo. Ofrece una serie de herramientas y flujos de trabajo automatizados.

ENVI soporta imágenes obtenidas de varios tipos de satélites y sensores, incluyendo los de tipo térmicos, hiperspectrales, pancromáticos, multiespectrales, radar, entre otros, (ESRI, 2021).

De igual manera se empleó el software ArcGis 10.3.1 considerado por ESRI (2021) como un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica.

El proceso realizado para la estimación de la TST, se resume en la figura 4 y se detalla posteriormente dentro de cada sub apartado.

Figura 4. Procedimiento para estimación de TST



Elaborado por: Autor, 2021.

Cálculo de valores de radiancia

Es un proceso de corrección radiométrica aplicado a todas las imágenes satelitales (banda 10) que da como resultado la radiancia espectral al techo de la atmósfera (TOA) de cada imagen y se lo realizó mediante el método de ganancia y sesgo que incluye la siguiente fórmula:

$$L\lambda = ML*Qcal+AL$$

Donde:

- $L\lambda$: Radiancia espectral en el sensor (Radiancia en el satélite).
- ML: Factor Multiplicativo de reescalamiento específico de la banda, proveniente de los metadatos. Este valor es 0.0003242 para todas las bandas 10 en todas las imágenes de Landsat 8.
- AL: Factor Aditivo de reescalamiento específico de la banda, proveniente de los metadatos. Este valor es 0.1 para todas las bandas 10 en todas las imágenes de Landsat 8.
- Qcal: Valor de pixel discretizados y calibrados del producto estándar (Valor digitales DN).

En ENVI la fórmula se representó de la siguiente manera:

$$L\lambda = 0.0003342*(B1) +0.1$$

B1: Banda con la que se trabaja

Calculo de la temperatura de brillo del sensor

La temperatura al brillo del sensor es el grado de radiancia electromagnética que viaja a través del techo de la atmosfera hacia el sensor. Esta se expresa en unidades de temperatura, lo equivale a un cuerpo oscuro. Por defecto, esta temperatura lleva consigo

algunos errores atmosféricos o valores no definidos, es decir no puede asumirse como la temperatura directo del suelo o de la superficie, sino que está al techo de la atmósfera.

Para su obtención, a partir de las imágenes de radiancia de la Banda 10, se aplicó la siguiente fórmula a todas las imágenes satelitales:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)}$$

Donde:

- T = Temperatura de brillo aparente
- $L\lambda$ = Corresponde a la reflectancia en el techo de la atmosfera (TOA)
- K1 = Es la constante de conversión K1 específica para cada banda, dicha constante térmica se suministra en el metadato. Este valor es 774.8853 para todas las bandas 10 en todas las imágenes de Landsat 8.
- K2 = Es la constante de conversión K2 específica para cada banda, dicha constante térmica se suministra en el metadato. Este valor es 1321.0789 para todas las bandas 10 en todas las imágenes de Landsat 8.

Debido a que el cálculo da como resultado temperaturas en grados Kelvin, al final de la formula se restó el valor 273.15 que es el factor de conversión para grados Celsius.

En ENVI la fórmula se representó de la siguiente manera:

$$T: (1321.0789/\text{alog}(1+(774.8853/\text{float}(B1))))-273.15$$

Cálculo de la emisividad

Es uno de los factores más importantes pues permite que la temperatura quede a nivel de la superficie y se lo realiza a través del cálculo del índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI).

Para obtener el NDVI, se realizó en primer lugar la corrección radiométrica de las bandas del canal rojo de todas las imágenes (bandas 4) y del infrarrojo cercano (bandas 5), mediante la siguiente fórmula:

$$\rho\lambda = \frac{(M\rho * Qcal + A\rho)}{\sin(\Theta se)}$$

Donde:

- $P\lambda$ = Es el valor reflectancia planetaria o en el techo de la atmosfera TOA, con corrección por ángulo solar.
- $M\rho$ = Es el factor multiplicativo de escalado específico por banda obtenido del metadato. Este valor es 0.00002 para todas las bandas 4 y 5 en todas las imágenes de Landsat 8.
- $A\rho$ = Es el factor aditivo de escalado específico por banda obtenido del metadato. Este valor es -0.1 para todas las bandas 4 y 5 en todas las imágenes de Landsat 8.
- $\sin \Theta se$ = Es el ángulo de elevación solar. El ángulo de elevación solar del centro de la escena es provisto en el metadato de la imagen (SUN_ELEVATION). Cada valor en grados decimales se convirtió en radianes.
- $Q cal$ = Es el producto estándar cuantificado y calibrado para valores de pixel (DN). Este valor se refiere a cada una de las bandas de la imagen.

En ENVI la fórmula se representó de la siguiente manera:

$$\rho\lambda = (0.00002 * \text{float}(B1) - 0.1) / \sin(\text{valor del ángulo en radianes})$$

Posteriormente, se calculó el NDVI para todas las imágenes corregidas en el paso anterior mediante la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} = \frac{Banda 5 - Banda 4}{Banda 5 + Banda 4}$$

En ENVI la fórmula se representó de la siguiente manera:

$$NDVI: (\text{float}(B5) - \text{float}(B4)) / (\text{float}(B5) + \text{float}(B4))$$

Para el cálculo de la proporción de la vegetación se utilizó el software ArcGis 10.3.2. donde se generaron estadísticas básicas para obtener los valores mínimos y máximos que requiere la fórmula aplicada a cada imagen, y se explica a continuación:

$$Pv = \left[\frac{NDVI - NDVImin}{NDVImax - NDVImin} \right]^2$$

Para calcular la emisividad finalmente se usa la expresión ya definida para Landsat 8 (Mujaber, 2019): Cálculo

$$\varepsilon = 0.973 - 0.047 Pv$$

Cálculo de la Temperatura Superficial

Se usó la siguiente fórmula:

$$LST = \frac{TB}{\left[1 + \left(\lambda * \frac{TB}{\rho} * \ln \varepsilon \right) \right]}$$

Donde:

- TB es la temperatura de brillo.
- λ es la longitud de onda de la radiancia emitida en cada banda.
- $\rho = h \cdot c / \sigma = 1.4380 \times 10^{-2}$ mK. (σ es la constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)).
- h es la constante de Planck (6.26×10^{-34} Js).
- c es la velocidad de la luz (2.998×10^8).
- ε es la emisividad

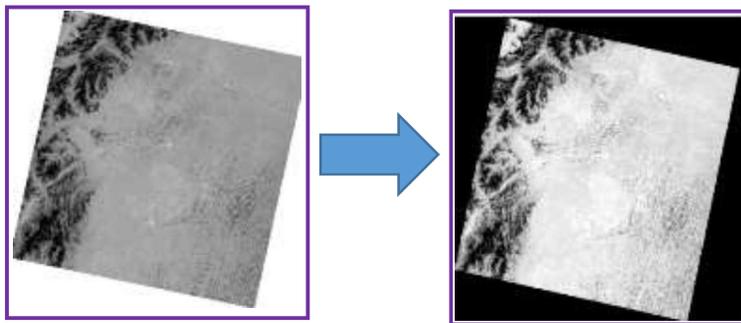
3. RESULTADOS

A continuación, se resumen los principales resultados encontrados en cada paso metodológico realizado y los resultados finales comparativos de temperatura superficial terrestre de las medidas in situ (provenientes de las redes meteorológicas estacionarias) respecto a la temperatura superficial de Landsat 8.

Cálculo de radiancia

Este paso permitió pasar cada imagen satelital de la banda 10 en bruto a niveles de reflectancia o digitales (figura 5), disminuyendo al mínimo la absorción y dispersión que se emite por las partículas que se encuentran en la atmosfera.

Figura 5. Diferencia entre imagen cruda e imagen satelital Sucumbbíos 2020



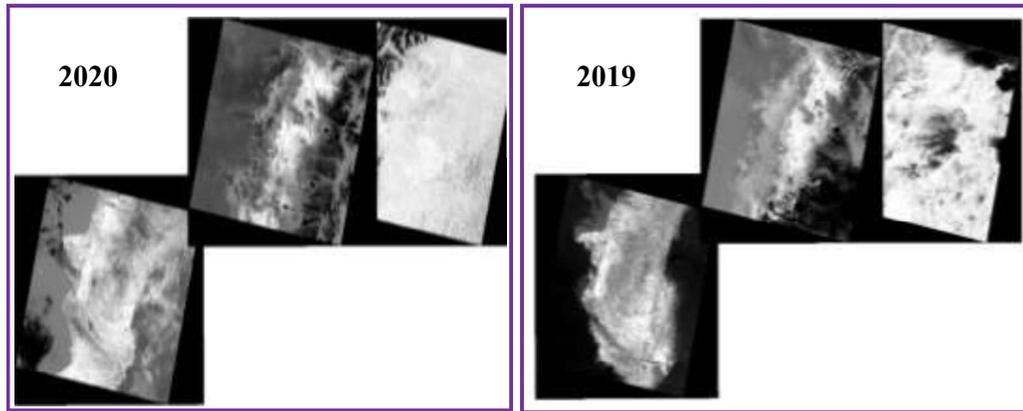
Elaborado por: Autor, 2021.

En la figura 6 se muestran los resultados de radiancia obtenidos para todas las imágenes.

Todas las imágenes obtuvieron valores entre 4 a 14, que de acuerdo a Ovalle (2020) son valores adecuados para la radiancia de la banda 10.

Es importante acotar que las bandas originales de Landsat 8 tienen a una resolución radiométrica de 16 bits, que al ser corregidas se guardan en 32 bits, esto para evitar la pérdida de información.

Figura 6. Resultado de la corrección radiométrica en ENVI

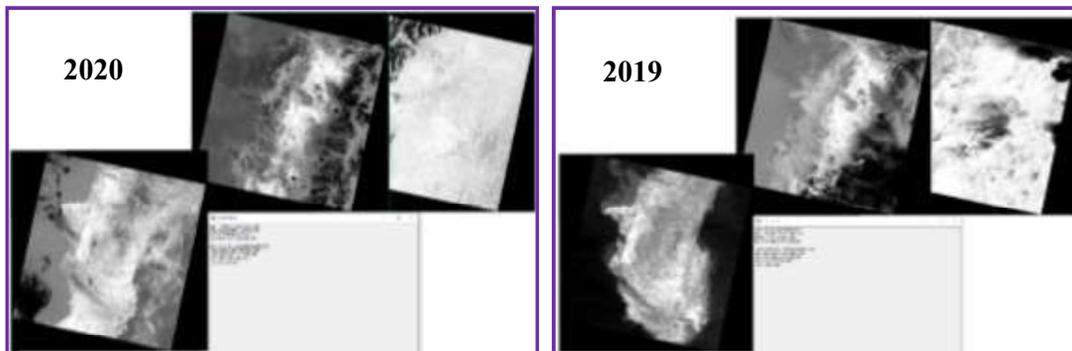


Elaborado por: Autor, 2021.

Cálculo de temperatura de brillo

Como se visualiza en la figura 7, los resultados tienen valores de temperatura en grados centígrados, pero como la temperatura de brillo asume que la superficie de la Tierra es un cuerpo negro no pueden asumirse como valores ciertos ya que incluyen los efectos atmosféricos de absorción y emisión (Lamfri, 201).

Figura 7. Resultado del cálculo de la temperatura de brillo en ENVI



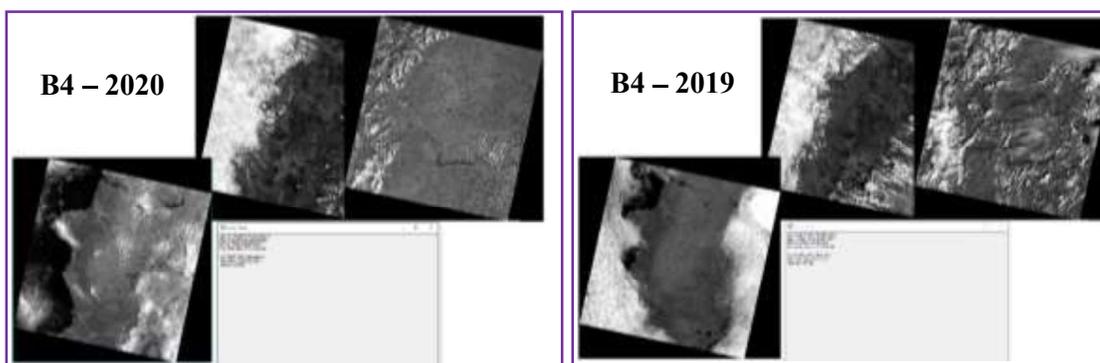
Elaborado por: Autor, 2021.

Cálculo de la emisividad

Obtención de la reflectancia TOA

Como parte del proceso, se obtiene primeramente 12 correcciones radiométricas (6 imágenes de la banda 4 del año 2020 y 6 imágenes de la banda 5), como lo indican las figuras 8 y 9.

Figura 8. Resultado de la obtención de la reflectancia de las bandas 4 en ENVI



Elaborado por: Autor, 2021.

Figura 9. Resultado de la obtención de la reflectancia de las bandas 5 en ENVI



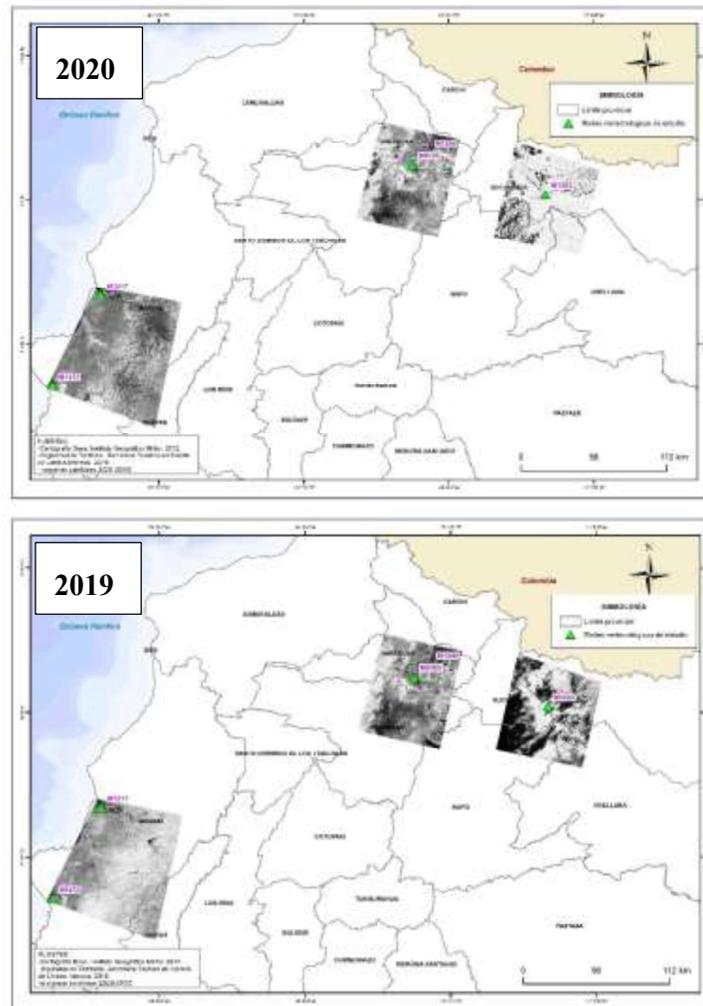
Elaborado por: Autor, 2021.

Cálculo del NDVI

La figura 10 muestra los NDVI calculados para cada imagen previamente cortada a un área más reducida para reducir la probabilidad de valores nulos. La escala de valores

para el NDVI es de -1 a 1, y de acuerdo a nuestros resultados los valores han sido adecuados, excepto la imagen de Imbabura de 2020 que tiene un valor mínimo de -1,36 atribuida a un número reducido de píxeles sin información. Los valores de -1 nos indican zonas de mayor nubosidad, los valores positivos más cercanos a 1 nos indican la vegetación con un nivel de salud bueno.

Figura 10. Resultado del cálculo del NDVI en ArcGIS

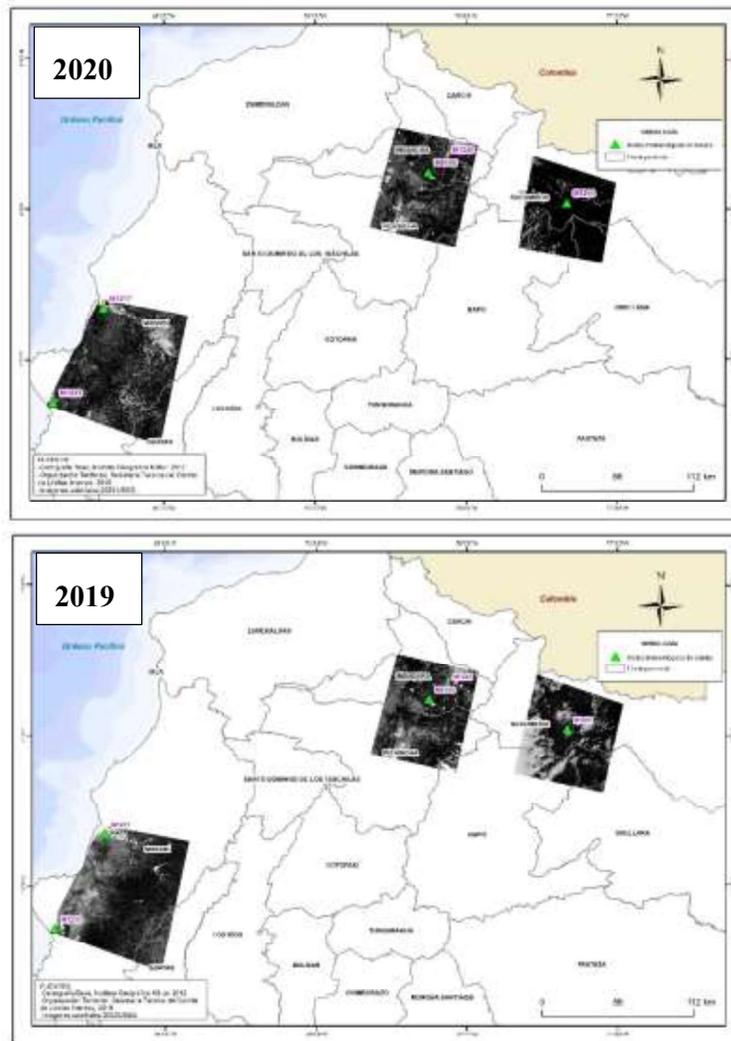


Elaborado por: Autor, 2021.

Proporción de la vegetación

Para este cálculo fue indispensable ocupar los valores mínimos y máximos del NDVI. La proporción permite conocer cuanta vegetación existe con respecto al suelo sin vegetación, como lo indica la figura 11.

Figura 11. Resultados de la proporción de la vegetación en ArcGIS



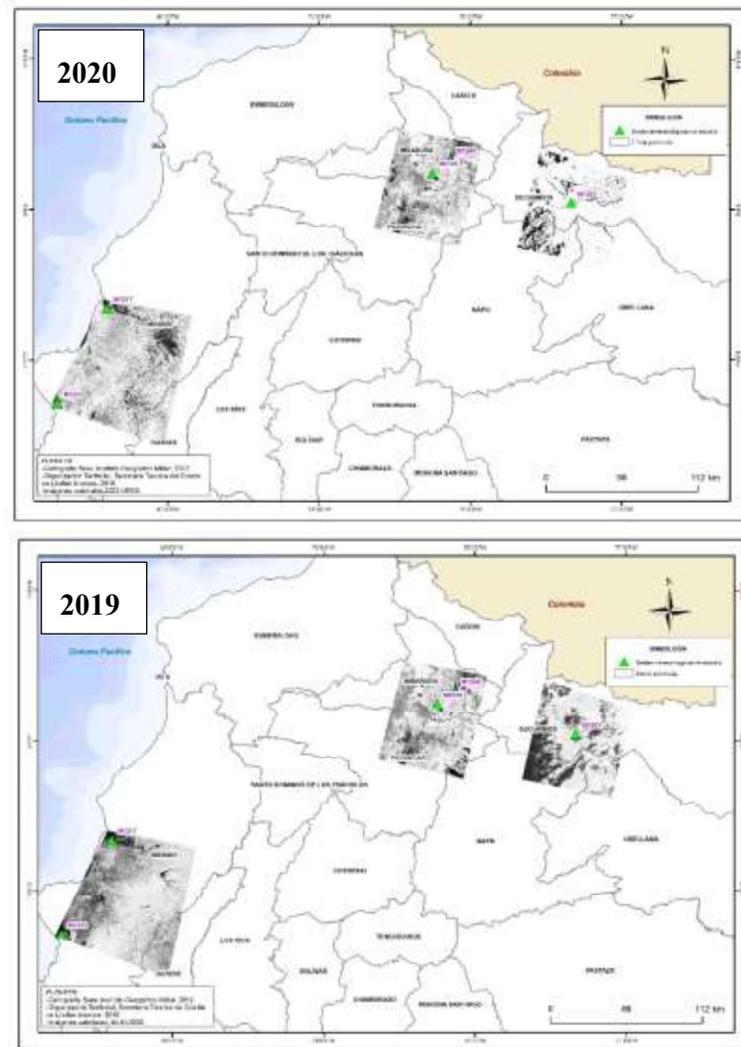
Elaborado por: Autor, 2021.

Cálculo de la emisividad

Los valores de emisividad deben estar en rangos de aproximadamente 0.96 a 0.99. De acuerdo a los resultados, los valores, en general se encuentran en un rango en el mínimo de

0,38 a 0,92 y en el máximo se tiene valores únicamente de 0,97. Aparentemente, existirían valores erróneos, pero al realizar la constatación los valores menores a 0,96 en el mínimo corresponden a pixeles que presentan presencia de nubes o no tienen información.

Figura 12. Resultados de la emisividad en ArcGIS



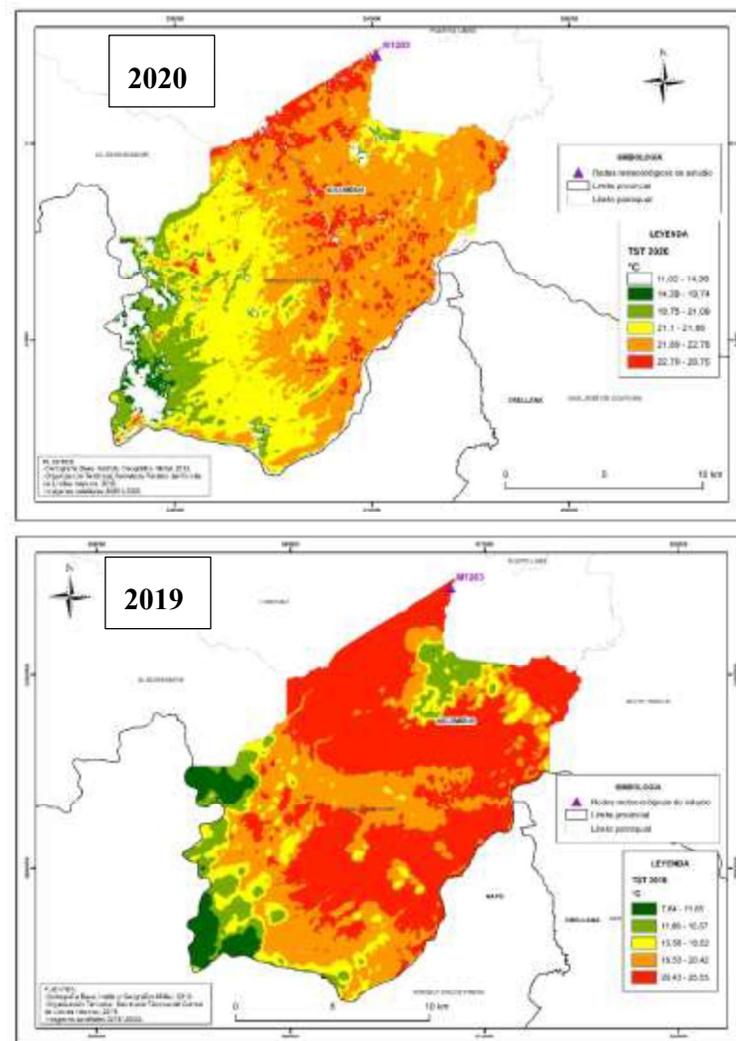
Elaborado por: Autor, 2021.

Cálculo de la temperatura superficial de la tierra (LTS)

Para observar mejor los resultados, se cortaron las imágenes que contengan el área de estudio a nivel de parroquia.

Parroquia Gonzalo Pizarro – Provincia de Sucumbíos: en el año 2020, los datos de temperatura reflejan rangos entre 11,02 °C a 28,75 °C, mientras que en el 2019 están entre 7,64°C a 25,55°C. Las temperaturas comprendidas en rangos entre 7,6° C a 18°C no reflejan una realidad de la región especialmente en su época seca, por lo que al sobreponer las imágenes resultantes con las imágenes originales, se puede constatar que esas zonas están afectadas por la presencia de nubes.

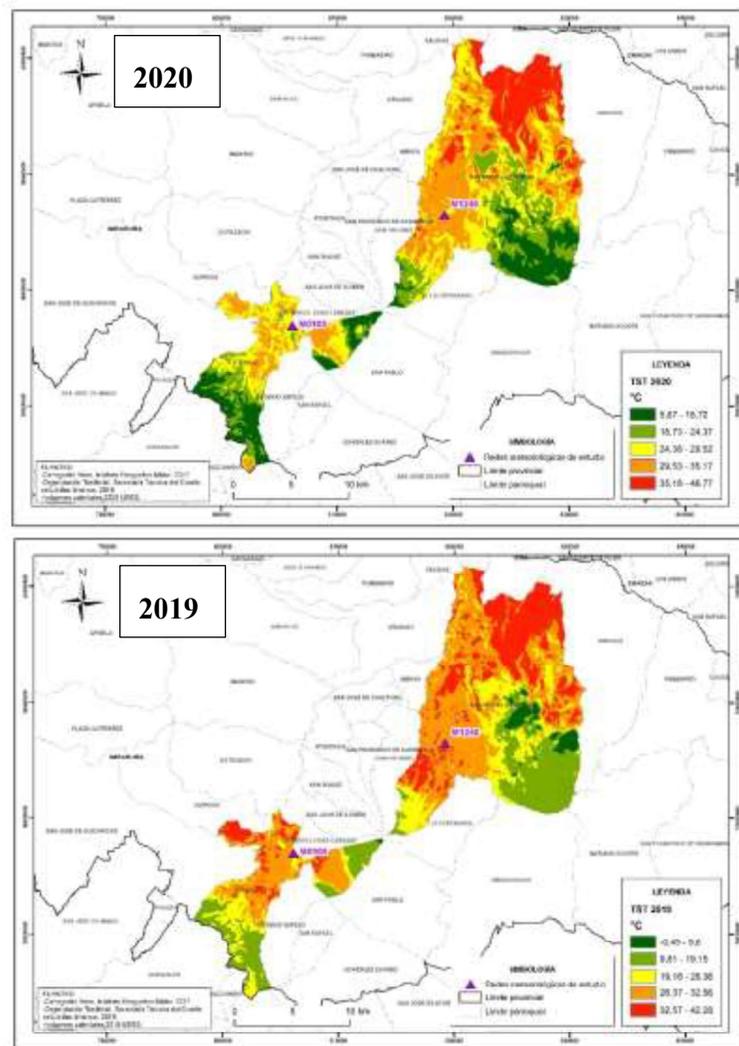
Figura 11. LTS obtenida para imágenes de Sucumbíos en ArcGIS – Parroquia Gonzalo Pizarro



Elaborado por: Autor, 2021.

Parroquias Ibarra y Otavalo – Provincia de Imbabura: en el año 2020 en la parroquia de Ibarra, los datos de temperatura reflejan rangos entre $-0,45\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $42,28\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que en el 2019 están entre $5,67\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $46,77\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las temperatura bajas entre 9°C y 20° están asociadas a zonas muy altas como cerros (Imabura y sus alrededores), mientras que aquellas menores a $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ están asociados a presencia de nubes y a pixeles sin información.

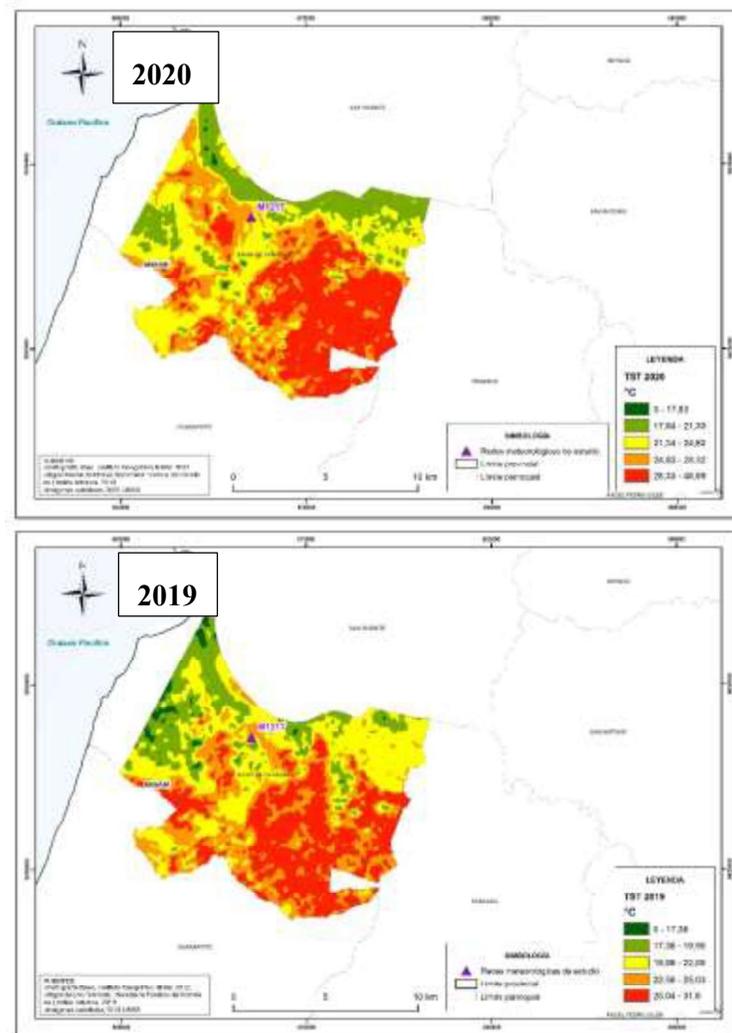
Figura 12. LTS obtenida para imágenes de Imbabura en ArcGIS – Parroquias Ibarra y Otavalo



Elaborado por: Autor, 2021.

Parroquia Sucre – Provincia Manabí: excluyendo los datos menores a 17,83 que no son mayormente representativos para ambos años por ser píxeles que se encuentran en zonas nubosas, se tiene rangos entre 17,84°C a 48,89 °C en el año 2020, mientras que en el 2019 están entre 17,36°c a 31,62°C.

Figura 13. LTS obtenida para imágenes de Manabí en ArcGIS – Parroquia Sucre

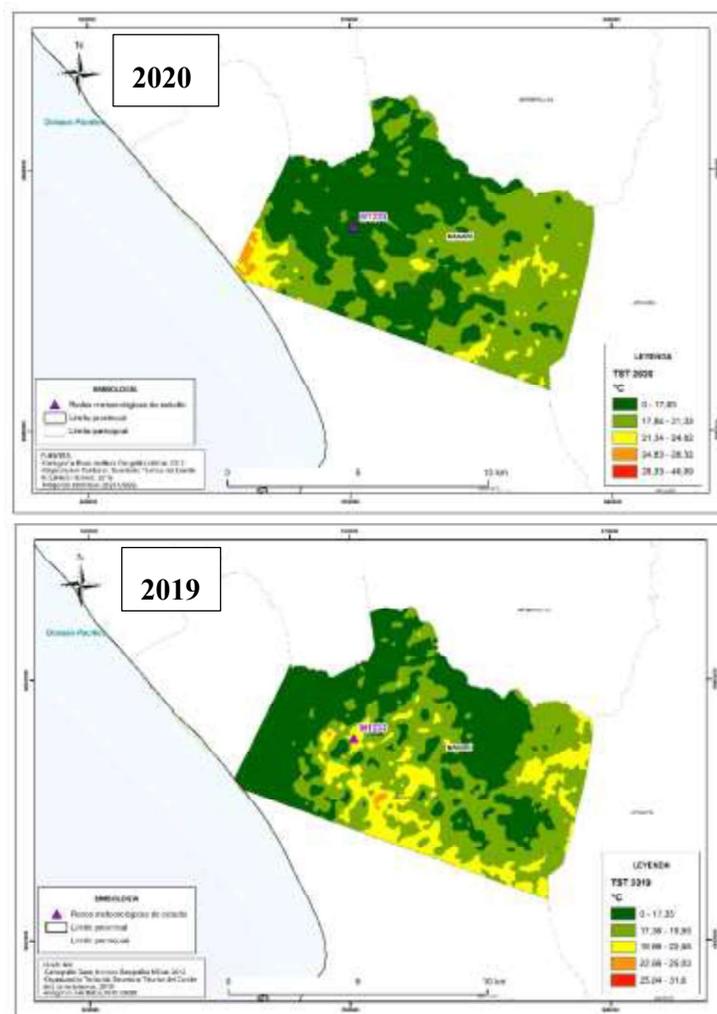


Elaborado por: Autor, 2021.

Parroquia Manta – Provincia Manabí: en el año 2020, se puede apreciar que la mayor parte de la parroquia tiene valores entre 0 a 17,83°C que al realizar un contraste con la imagen en color real se comprueba que el área está totalmente cubierta por nubes; otra gran porción corresponde a valores entre 17,84 a 21,33°C.

Para el año 2019, se observa un comportamiento parecido puesto que sus rangos más representativos (entre 0 y 19,85°C) se deben a la nubosidad.

Figura 14. LTS obtenida para imágenes de Manabí en ArcGIS – Parroquia Manta



Elaborado por: Autor, 2021.

Comparación de temperatura superficial de estaciones meteorológicas vs. LTS de Landsat 8.

Se ha comparado las medidas tomadas en superficie con los resultados obtenidos por los productos aplicados de Landsat 8 bajo la metodología de estimación de temperatura superficial descrita.

A manera general existe una diferencia estimada de 4,5°C que otorgan los productos Landsat 8 respecto a las tomas in situ.

En el caso de las estaciones en estudio de la Sierra, se tiene una diferencia aproximada de 6,2°C. En el caso de las estaciones en estudio de la región Costa se observa una diferencia de 2,6°C, sin tomar en cuenta el valor atípico de 6,28 para la estación de Cantagallo en el año 2020, lo que está estrechamente relacionado a que en ese sector se evidenció mayor cobertura de nubes respecto a la imagen total, lo que incide en el valor real de la estimación de la temperatura superficial.

En el caso de la región Amazónica, se presenta una diferencia en 4,6°C, siendo que la imagen que del 2020 es aquella que presenta la mayor variación con 6,3°C

Tabla 3. Cuadro comparativo de temperatura superficial in situ vs. Landsat 8

Comparación temperatura superficial - Región Sierra					
Día (dd/mm/aa)	Nombre	Estación	TST in situ (°C)	TST Landsat 8	Diferencia °C
25/08/19	Otavalo	M0105	20,4	28,2	-7,8
11/08/20			23,8	26,9	-3,1
25/08/19	Ibarra-1	M1240	24,1	30,8	-6,7
11/08/20			24,9	32,2	-7,3
				Media°C	-6,2
Comparación temperatura superficial - Región Costa					
Día (dd/mm/aa)	Nombre	Estación	TST in situ (°C)	TST Landsat 8	Diferencia °C
01/09/19	Cantagallo	M1233	19,1	20,9	-1,8
21/10/20			23,8	14,7	9,1

01/09/19	Bahía de Caraquez	M1217	28,8	24,2	4,5
21/10/20			27,5	25,8	1,6
				Media°C	-2,6
Comparación temperatura superficial - Región Amazonía					
Día (dd/mm/aa)	Nombre	Estación	TST in situ (°C)	TST Landsat 8	Diferencia °C
08/12/19	Lumbaqui	M1203	27	29,9	2,9
10/12/20			29,4	23,1	6,3
				Media°C	4,6
				Media°C total	4,5

Elaborado por: Autor, 2021.

4. DISCUSIÓN

La importancia de la variable ambiental *temperatura superficial terrestre* está muy presente en diferentes ámbitos, tales como la evaluación de fenómenos naturales (ejemplo: erupciones volcánicas o identificación de áreas de potencial geotérmico), en estudios de cambio climático, de desertificación, o la estimación de diversas variables de interés ambiental como la evapotranspiración, entre otras.

La estimación de esta variable se puede llevar a cabo de manera puntual mediante termistores o termómetros ubicados en redes estacionarias convencionales o automáticas, en las zonas de estudio. Estos procesos usualmente tienen la dificultad de que el área de trabajo sea reducida o los costos sean elevados y en caso de necesitar cubrir áreas más extensas se requiere mayor número de sensores para poder medir la rápida variación de temperatura en el tiempo y en el espacio (Anaya, 2019).

Como es el caso de Ecuador y como sucedió en esta investigación, el acceso a información proveniente de redes estacionarias se torna complicado, pues, por un lado, requiere procesos burocráticos extensos que complican la adquisición de información y, por otro lado, no existe cobertura de la totalidad del territorio nacional (especialmente de

información histórica) para realizar comparaciones más significativas que precisen de mayor forma la validez de Landsat 8 u otros sensores.

En base a la investigación cualitativa realizada se pudo determinar que en Ecuador no existe un número significativo de investigaciones en este sentido y que el acceso a información ambiental se lo hace mayormente a través del método convencional es decir a partir de las redes estacionarias de la fuente oficial.

Hoy en día, frente a las complicaciones que supone el acceso a este tipo de información desde métodos convencionales, el uso de imágenes satelitales supone una herramienta potente y más confiable ante la diversidad de productos sensoriales térmicos y la capacidad de captación y disponibilidad de información que contienen.

No obstante, uno de los mayores problemas que plantea la estimación de la temperatura superficial de la tierra a partir de sensores remotos es la acción combinada de las perturbaciones debidas al efecto atmosférico y la variabilidad en las emisividades de las diferentes coberturas de la tierra (Causli y Castellanos, 2017). En esta investigación, la cobertura de nubes, pese a las correcciones atmosféricas realizadas, fue uno de los mayores inconvenientes para tener valores óptimos en los procesos metodológicos y en los resultados de estimación de TST para las áreas de estudio.

En todas las áreas de estudio se han podido determinar valores atípicos de temperatura superficial producidos por la presencia de nubes y por la heterogeneidad propia de cada zona, respecto a la temperatura promedio en la época seca de cada zona, explicada en el apartado 2.1.

Uno de los casos más representativos de este tipo de errores se evidencia en la parroquia de Manta, donde la mayor parte del área está representada con valores entre (0°C y 17,83), que al ser contrastada con la imagen en color real indica que es una zona de alta

nubosidad. No se ha considerado discriminar esta área ya que en la misma se encuentra la estación en estudio, Cantagallo, que al compararla con la medida in situ presenta una diferencia atípica de 9,1 °C atribuida al mismo fenómeno.

Otro caso representativo, es el de la Sierra con una sobreestimación general de aproximadamente 6,2°C. Si bien es cierto, no existe mayor cobertura de nubes y considerando que los datos de las estaciones no han sido tomados en el momento exacto (minuto y segundos) de la toma de la imagen satelital, la gran variabilidad térmica de la zona y su heterogeneidad, pueden causar esta diferencia en la estimación de TST.

Con los resultados obtenidos, se puede decir que tomando en cuenta la heterogeneidad térmica del país y la cobertura de nubosidad de las imágenes de los productos de Landsat 8, el uso de este sensor debe ser estudiado a mayor profundidad involucrando más observaciones y en mayor número de estaciones, puesto que presenta una sobre estimación de 4,5°C, que puede resultar mayormente.

Comparando con otros estudios del mismo sensor, como en el caso de "Algoritmo para el mapeo automatizado de la temperatura de la superficie terrestre utilizando datos de satélite LANDSAT 8" de Ugur Avdan, Gordana Jovanovska (2016), los diferencias entre medidas in situ y medidas Landsat se encuentran entre 1°C y 7,8°C, que, de acuerdo al autor, se debe a fenómenos atmosféricos como nubosidad, heterogeneidad del área y eventos no deseados.

En comparación con otros sensores, el estudio "Validación de productos TST de los sensores AATSR y MODIS a partir de medidas de superficie" elaborado por Col *et al* (2005) se evidencia un fenómeno similar con AATSR por la sobre estimación del sensor ASSTR de aproximadamente 3°C, que además de los efectos atmosféricos que provocaron distorsión, el resultado sobreestimado se explica ante la posibilidad de que

en la aplicación operativa del algoritmo asigna unos coeficientes basada en una clasificación global de resolución de $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ que no se ajustó a su área de estudio. En el caso de MODIS, los resultados tienen una precisión de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ y el estudio se realizó en zonas heterogéneas.

El estudio “Spatio-temporal prediction of daily temperatures using time-series of MODIS LST images” de Hengl *et al* (2012) expresa que MODIS presentó una sobre estimación de $\pm 4^{\circ}\text{C}$ pero que las imágenes MODIS LST de 8 días (sin nubes) son estimadores insesgados de la temperatura diaria. Por lo tanto, y como se mencionó anteriormente, es prudente replicar este estudio con mayores observaciones empleando el uso de sensores que determinen el nivel de precisión de estos sensores para obtener TST.

5. CONCLUSIONES

Este trabajo muestra el nivel de precisión que presenta el sensor Landsat 8 a través de OLI y TIRS en el área de estudio para la obtención de la temperatura superficial terrestre a través de la comparación con medidas in situ provenientes de las redes de estaciones automáticas meteorológicas en los años 2019 y 2020. Las bandas TIRS 10 se usaron para encontrar la temperatura de brillo del sensor, puesto que esta banda es una de las que tienen mayor desempeño en el cálculo de TST y representan menor efecto de contaminación atmosférica de datos (Mujabar, 2019) y las bandas OLI (bandas 4 y 5) se usaron para encontrar la emisividad de la superficie.

El resultado muestra que Landsat 8, presenta una sobreestimación de alrededor $4,5^{\circ}\text{C}$, producido especialmente por la presencia de nubes en el área de ubicación de las redes meteorológicas en estudio.

La estimación de temperatura en las parroquias de las tres regiones, arrojaron datos con temperaturas representativamente inferiores que no reflejan la total realidad al compararse con el promedio de temperatura de la época seca de cada región. Esto además de deberse a la presencia de nubes, surge ante la gran variabilidad térmica de la zona y su heterogeneidad que pueden causar esta diferencia en la estimación de TST y más aun tomando en cuenta que los datos térmicos de las estaciones no han sido tomados en el momento exacto (minuto y segundo) de la toma de la imagen satelital.

Aunque los datos analizados de la presente investigación son reducidos a causa de las complicaciones de acceso a información y de la disponibilidad de las imágenes satelitales adecuadas para estimación de TST para el Ecuador, estos resultados son la base para replicar la metodología en el estudio de varias zonas del Ecuador y con mayor número de observaciones.

6. RECOMENDACIONES

Considerando que en Ecuador existen muy pocos trabajos en esta línea, se recomienda emplear la metodología de validación de Landsat 8 en otras provincias y compararse con otras redes estacionarias meteorológicas a fin de obtener resultados que demuestren y comparen el nivel de precisión de Landsat a mayor número de observaciones.

Así mismo, se recomienda replicar este ejercicio con otros sensores térmicos como MODIS que por sus características (alta sensibilidad radiométrica, alta resolución temporal y buena calidad geométrica) y la evidencia en otros estudios de su gran precisión, es uno de los más importantes para el monitoreo de temperaturas al contar con el producto MODIS Land Surface Temperature and Emissivity (MOD11) de modo que se pueda determinar la precisión de información comparando la información entre

sensores térmicos ampliamente usados para determinar un indicador ambiental fundamental en diversas investigaciones.

Si bien es cierto que por Registro Oficial No.431, 14 de abril 2021 que dicta el reglamento general de gestión financiera por concepto de venta de información y prestación de servicios del INAMHI, esta Institución debe considerar una alternativa para la entrega de la información meteorológica con costos menores o gratuitos sin condiciones de mayor dificultad de cumplimiento, puesto que este tipo de sucesos, dificulta el desarrollo de proyectos como esta investigación importante para la gestión ambiental.

7. REFERENCIAS

Aliaga, G. (2006). *Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del territorio*. Revista de Geografía Norte Grande, (36), 97-101.

Andrés-Anaya, P. (2019). *Temperatura superficial terrestre a partir de imágenes satelitales: herramienta para su cálculo*.

Burch, S. (2005). *Sociedad de la información/Sociedad del conocimiento*. Palabras en juego, 54-78.

Carmona, A., & Monsalve, J. (1999). *Sistemas de información geográficos*. In Congreso de Ingeniería de Sistemas en la Universidad San Buenaventura de Medellín Colombia.

Castro Díaz, I. R. (2009). *Metodología de validación de productos MODIS para la estimación de temperatura de la superficie en zonas heterogéneas y homogéneas de Colombia (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia)*.

- Galvis Causil, S., & Prada Castellanos, R. V. (2017). *Uso de imágenes satelitales Landsat 8 para la estimación de temperatura superficial de la tierra, caso de estudio: Ibagué–Tolima*.
- da Silva, B. B., Mercante, E., Boas, M. A. V., Wrublack, S. C., & Oldoni, L. V. (2018). *Satellite-based ET estimation using Landsat 8 images and SEBAL model*. *Revista Ciencia Agronomica*, 49(2), 221–227.
- García, R. (2007). *Los sensores remotos y su aplicación en la meteorología: un estudio de caso*. In XVI Congreso Internacional de Meteorología, Edición Internacional. Organización Mexicana de Meteorólogos AC (OMMAC), Veracruz. México (p. 10).
- Gobierno Provincial de Imbabura. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Imbabura 2015-2035*.
- Gobierno Provincial de Manabí. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Manabí 2015-2024 - Provincia del Milenio*.
- Jones, Jr., Jedlovec, G., Suggs, R y Haines, S. (2004). *Using MODIS TST to Estimate Minium Air Temperatures at Night*.
- Labrador, M., Évora, J., & Arbelo, M. (2012). *Satélites de Teledetección para la Gestión del Territorio*. La Laguna, Spain.
- Lara, E. L., Simeón, C. P., & Navarro, J. G. M. (2006). *Los sistemas de información geográfica*. *Geoenseñanza*, 11, 16.
- Logroño-Naranjo, S. I., López-Paredes, C. R., Moyano-Jácome, M. G., & Oyague-Bajaña, E. S. (2020). *El alcance de la teledetección satelital utilizando modelos*

estadísticos y físicos y sus beneficios en áreas contables. Dominio de las Ciencias, 6(2), 25-40.

Martínez Vega, J., Martín, M. P., Díaz Montejo, J. M., López Vizoso, J. M., & Muñoz Recio, F. J. (2010). *Guía didáctica de teledetección y medio ambiente.*

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

Ministerio de Desarrollo Productivo. (2020). *Sensores remotos.* Encontrado en: <http://www.segemar.gov.ar/igrm/sensores-remotos/>

Moizo, P. (2004). *La percepción remota y la tecnología SIG: Una aplicación en ecología de Paisaje.* Revista Internacional de Ciencia y Tecnología, GeoFocus N°4, p 1-24.

Martínez-Vega, J., Martín, M. P., Díaz Montejo, J. M., López Vizoso, J. M., & Muñoz Recio, F. J. (2010). *Guía didáctica de teledetección y medio ambiente.*

Mujabar, P. S. (2019). *Spatial-temporal variation of land surface temperature of Jubail Industrial City, Saudi Arabia due to seasonal effect by using Thermal Infrared Remote Sensor (TIRS) satellite data.* Journal of African Earth Sciences, 155, 54-63.

Pesca, D. (2009). *Sistemas de información geográfica, sensores remotos y mapeo para el desarrollo y la gestión de la acuicultura marina.*

Perez, C., & Muñoz, A. L. (2006). *Teledetección: nociones y aplicaciones.*

Rodríguez, O. y Arredondo, H. (2005). *Manual para el manejo y procesamiento de imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto MODIS de la NASA, aplicados en estudios de ingeniería civil.* Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá.

- Reuter, F. (2009). *Principios de Teledetección*. Universidad de Santiago del Estero
- Sacristán, F. (2006). *La tecnología al servicio del medio ambiente*. Revista Facultad Nacional de Salud Pública, 24(1), 119-127.
- Straschnoy, J. V., Campos, A. N., Oricchio, P. A., & Di Bella, C. M. (2014). *Proyecto ORÍGENES: Observación Remota e Información Geográfica Enseñadas en las Escuelas*. In Congreso Iberoamericano de Ciencias, Tecnologías, Innovación y Educación. 2014 11 12-14, 12, 13 y 14 de noviembre de 2014. Buenos Aires. AR.
- Tihay, J. (1994). *Sensores Remotos: La Utilización de datos de satélites, problemas de técnicas o de métodos*. México.
- Ugur Avdan, Gordana Jovanovska. (2016). *Algoritmo para el mapeo automatizado de la temperatura de la superficie terrestre utilizando datos de satélite LANDSAT 8*". Journal of Sensors, vol. 2016.
- Williams, D. L., Goward, S., & Arvidson, T. (2006). *Landsat. Photogrammetric Engineering y Remote Sensing*. 72(10), 1171-1178.
- Wan, Z y Za, Li. (2008). *Radiance-based validation of the MODIS land-surface temperatura product*. International Journal of Remto Sensing, 29:5373-5395.
- Ramos Ramírez, J. A. (2020). *Aplicación de imágenes satelitales del sensor MODIS en la Gestión de Riesgos*.
- Pasapera Gonzales, J. J. (2016). *Validación de la emisividad y temperatura de la superficie del suelo usando datos del satélite LANDSAT 8*.