



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS ZONIFICACIONES CLIMÁTICAS DE
CALDAS-LANG Y HOLDRIDGE, CON LA ZONIFICACIÓN DEL CLIMA EDÁFICO
DEL ESTUDIO SEMIDETALLADO DE SUELOS, EN LA CUENCA DEL RÍO CAUCA,
DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA**

ARLES EDUARDO MEDINA BERMUDEZ

Ingeniero Forestal

OSCAR EMILIO ALDANA BUITRAGO

Ingeniero Forestal

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS
BOGOTÁ
2019**



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS ZONIFICACIONES CLIMÁTICAS DE CALDAS-
LANG Y HOLDRIDGE, CON LA ZONIFICACIÓN DEL CLIMA EDÁFICO DEL
ESTUDIO SEMIDETALLADO DE SUELOS, EN LA CUENCA DEL RÍO CAUCA,
DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA**

ARLES EDUARDO MEDINA BERMUDEZ
Ingeniero Forestal
OSCAR EMILIO ALDANA BUITRAGO
Ingeniero Forestal

Proyecto de investigación para optar por el título de:
MAGÍSTER EN GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Directora:
YENNIFER GARCÍA MURCIA
Bióloga Msc.

Codirector:
DIEGO FERNANDO ALZATE VELÁSQUEZ
Ingeniero Forestal Msc.

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS
BOGOTÁ
2019

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. fecha (día, mes, año)

DEDICATORIA

“Dedico a la memoria de mi padre. A mi madre y familia por su paciencia y apoyo incondicional”

Arles Eduardo

“Si amor....esos abrazos y palabras de ánimo, ayudaron mucho”.

Oscar Emilio

AGRADECIMIENTOS

Al equipo administrativo y docente de la Universidad Santo Tomás por facilitar el buen desarrollo del proceso educativo.

A la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC por el apoyo brindado para realizar los estudios de maestría.

A nuestra Directora y Codirector, Magísteres Yennifer García Murcia y Diego Fernando Álzate Velásquez por sus aportes y acompañamiento.

A los Doctores Luis Fernando Gopar Merino, Cesar Augusto Riveros Romero y Ligia Lugo Vargas por ser parte del jurado y revisión de la tesis.

Al Ingeniero Alfonso María García Sánchez, Agrólogo MSc., por su asesoría en la interpretación de los estudios de suelos.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	16
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
3. JUSTIFICACIÓN.....	23
4. OBJETIVOS.....	24
4.1 General.....	24
4.2 Específicos.....	24
5. MARCO TEÓRICO.....	25
5.1 Estado del Arte	25
5.2 Marco Conceptual.....	29
5.2.1 Interpolación Espacial	29
5.2.2 Clasificaciones climáticas	31
5.2.3 Zonificación del clima edáfico	37
5.3 Marco Normativo	40
6. METODOLOGÍA	44
6.1 Área de Estudio	44
6.2 Datos utilizados	45
6.3 Tratamiento de Datos Climáticos	45
6.3.1 Control de calidad	47
6.3.2 Llenado datos faltantes.....	51
6.4 Generación de superficies climáticas	58
6.4.1 Superficie de temperatura.....	58
6.4.2 Superficie de precipitación.....	60
6.4.3 Generación de zonificaciones climáticas	61
6.5 Zonificación clima edáfico	61
6.6 Análisis comparativo de zonificaciones	62
6.6.1 Caldas-Lang versus Holdridge	62
6.6.2 Zonificaciones climáticas versus zonificación del clima edáfico	63
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68

7.1	Datos Seleccionados	68
7.2	Superficies variables climáticas.....	69
7.2.1	Temperatura	69
7.2.2	Precipitación.....	71
7.3	Zonificaciones climáticas	73
7.4	Zonificación del clima edáfico	76
7.5	Comparación zonificaciones.....	77
7.5.1	Caldas-Lang versus Holdridge	77
7.5.2	Zonificaciones climáticas y zonificación clima edáfico	85
7.5.3	Comparación provincias de humedad	87
8.	DISCUSIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
9.	CONCLUSIONES	93

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de Caldas.....	33
Tabla 2. Clasificación de Lang	33
Tabla 3. Clasificación de Caldas-Lang	34
Tabla 4. Clasificación de Holdridge.	36
Tabla 5. Regímenes de humedad estudios de suelos	39
Tabla 6. Regímenes de temperatura estudios de suelos.....	40
Tabla 7. Consolidado del análisis de control de calidad de datos climáticos estudio.....	51
Tabla 8. Muestra de series de temperatura homogenizadas.....	52
Tabla 9. Homologación de los pisos térmicos de las clasificaciones climáticas.	64
Tabla 10. Homologación de las provincias de humedad de las clasificaciones climáticas.	64
Tabla 11. Unidades climáticas resultantes para el proceso de comparación	65
Tabla 12. Distribución de las estaciones meteorológicas del estudio por rango altitudinal.	68
Tabla 13. Resultados de las pruebas de regresión lineal múltiple de las ecuaciones de temperatura.	70
Tabla 14. Resultados de los criterios de calidad de las ecuaciones de temperatura.	70
Tabla 15. Resultados de los parámetros de calidad de los métodos de interpolación considerados para el modelo de superficie de precipitación.....	72
Tabla 16. Unidades climáticas de la zonificación Caldas – Lang en la zona de estudio.	74
Tabla 17. Unidades climáticas de la zonificación de Holdridge en la zona de estudio.	75
Tabla 18. Unidades zonificación del clima edáfico estudio semidetallado de suelos la zona de estudio.	76

Tabla 19. Distribución en número y porcentaje de las unidades climáticas por pisos térmicos...	80
Tabla 20. Distribución en área y porcentaje de las provincias de humedad por zonificación climática.....	81
Tabla 21. Parámetros de comparación estadística para las zonificaciones climáticas.....	84
Tabla 22. Resultados prueba de Friedman en la comparación de pisos térmicos de las zonificaciones.	86
Tabla 23. Resultados prueba de Wilcoxon en la comparación de pisos térmicos de las zonificaciones.	87
Tabla 24. Resultados prueba de Friedman en la comparación de las provincias de humedad de las zonificaciones.	88
Tabla 25. Resultados prueba de Wilcoxon en la comparación de las provincias de humedad de las zonificaciones.	89

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ilustración interpolación espacial.	30
Figura 2. Nomograma de Holdridge.	35
Figura 3. Proceso de detalle para levantamientos de suelos.	37
Figura 4. Tipos de observaciones de campo estudio semidetallados de suelos.	39
Figura 5. Área de estudio y distribución de estaciones climáticas.	44
Figura 6. Ubicación estaciones meteorológicas en el área de estudio.	45
Figura 7. Gráfico de disponibilidad de datos climáticos.....	46
Figura 8. Ayuda gráfica para la identificación de valores atípicos de precipitación.	47
Figura 9. Ayuda gráfica para la identificación de valores atípicos de temperatura.	48
Figura 10. Control de calidad de datos mediante desviación estándar.	48
Figura 11. Control de calidad de datos mediante diagrama de caja.....	49
Figura 12. Ayuda gráfica para la identificación de valores atípicos de precipitación.	49
Figura 13. Ayuda gráfica para la identificación de valores atípicos de temperatura.	50
Figura 14. Comportamiento homogenización datos de Temperatura Estación Buitrera.....	53
Figura 15. Comparativo de datos de precipitación de Estación 26100350 versus valores estimados por CHIRPS (periodo 1980-2010).	54
Figura 16. Comparativa datos precipitación mensual multianual Estación 26100350 vs estimados por CHIRPS.	55
Figura 17. Comparativa coeficientes de determinación ajustado de estaciones y CHIRPS.	56
Figura 18. Series de precipitación descartadas	56

Figura 19. Ejemplos de series de precipitación con llenado de datos mediante la herramienta CHIRPS.....	57
Figura 20. Observaciones de campo del estudio semidetallado de suelos en la zona de estudio.	62
Figura 21. Modelo de análisis comparativo de las zonificaciones climáticas.	64
Figura 22. Matriz de muestreo toma de información de unidades climáticas homologadas.	67
Figura 23. Distribución estaciones precipitación de acuerdo a su altitud en la zona de estudio. .	69
Figura 24. Distribución estaciones temperatura de acuerdo a su altitud en la zona de estudio.	69
Figura 25. Distribución de la temperatura media anual en la zona de estudio.	71
Figura 26. Distribución de la precipitación media anual en la zona de estudio.....	73
Figura 27. Zonificación climática de Caldas – Lang para la zona de estudio.	74
Figura 28. Zonificación climática de Holdridge para la zona de estudio.	75
Figura 29. Zonificación del clima edáfico en la zona de estudio.....	77
Figura 30. Unidades climáticas de las zonificaciones de Caldas-Lang y Holdridge.	78
Figura 31. Comparación de las extensiones de las unidades climáticas de las zonificaciones de Caldas-Lang y Holdridge.....	79
Figura 32. Distribución de áreas por piso térmico en las zonificaciones de Caldas-Lang y Holdridge.	80
Figura 33. Distribución porcentual provincias de humedad zonificaciones de Caldas-Lang y Holdridge.	82
Figura 34. Distribución geográfica de provincias de humedad de Caldas – Lang y Holdridge. ..	83
Figura 35. Distribución de los pisos térmicos para las zonificaciones comparadas.	86
Figura 36. Distribución de provincias de humedad para las zonificaciones comparadas.....	87

Figura 37. Provincias de humedad zonificaciones de Caldas – Lang, Holdridge y Suelos.....	88
Figura 38. Provincias de humedad Holdridge, Caldas-Lang y Suelos en la cuenca alta río Bugalagrande, departamento del Valle del Cauca.	89
Figura 39. Vegetación espinosa con predominio de arbustos espinosos en condición seca, cuenca alta río Bugalagrande, departamento del Valle del Cauca.	89

ANEXOS

Pág.

Anexo 1: Estaciones meteorológicas del estudio	61
--	----

1. INTRODUCCIÓN

Las zonificaciones climáticas pretenden identificar áreas geográficas homogéneas en sus características climáticas. Existen dos tendencias principales de clasificación: las genéticas que se basan en los factores que generan la diversidad climática (radiación solar, circulación de la atmósfera, masas de aire, etc.), y las empíricas, que se fundamentan en elementos del clima combinados en índices (temperatura, grado de humedad, etc.) (Sánchez y Garduño, 2007).

Los métodos de clasificación utilizados para elaborar zonificaciones climáticas se basan generalmente en el comportamiento promedio de la precipitación y la temperatura (IDEAM, 2005). Köppen (1928) y Holdridge (1967) añadieron a sus clasificaciones la variable vegetación. Thornthwaite (1948) toma en cuenta la evapotranspiración en función de la temperatura. Flohn (1950) se basa en los movimientos atmosféricos en lugar de la precipitación y la temperatura. Walter (1960) define zonas climáticas a partir de diagramas con láminas superpuestas de temperaturas y precipitaciones en una escala vertical.

Los avances en los sistemas de información geográfica, los métodos geoestadísticos y las tecnologías de teledetección han favorecido en las últimas décadas la generación de zonificaciones con mayor grado de precisión. En Alemania se desarrolló el Klimaeignungskarte (Ihl, 1991) para identificar condiciones microclimáticas y en Francia el concepto de Terroir (Tonietto y Carbonneau, 2002) que integra características climáticas, edáficas y productivas para el cultivo de la vid y la producción de vinos (Tonietto (2005) citado por Morales *et al.*, 2006).

En Colombia se han realizado zonificaciones climáticas basadas principalmente en las clasificaciones propuestas por Köppen, Martonne (1937), Thornthwaite, Caldas-Lang (1962) y Holdridge (IDEAM, 2005). El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

(IDEAM) y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH) han generado mapas climáticos del país y sus diferentes regiones naturales utilizando las clasificaciones de Holdridge y Caldas-Lang (Espinal & Montenegro, 1963; Etter, 1998; Rodríguez *et al.*, 2004). El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2018) para sus estudios de suelos utiliza una combinación de las clasificaciones de Caldas y Holdridge.

En el departamento del Valle del Cauca son varios los trabajos realizados que directa o indirectamente han abordado zonificaciones climáticas. Cardona y Ospina (1976) elaboraron la zonificación climática del departamento a partir de Caldas-Lang para determinar las áreas óptimas para el cultivo de café. Por su parte, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y la Fundación Agua Viva (CVC-FUNAGUA, 2010) elaboraron el estudio de ecosistemas abordando la zonificación climática a partir de la metodología propuesta por IDEAM (2007) que se basa en Caldas-Lang y Holdridge. Así mismo, el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA, 2011) elaboró una zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar a partir de una zonificación climática por balance hídrico y el estudio detallado de los suelos.

A pesar de los numerosos trabajos sobre zonificación climática, son muy pocos los que han abordado análisis comparativos entre diferentes métodos clasificación para una misma zona o región, que permitan decidir sobre cuál es el más adecuado o conveniente utilizar. Hernández *et al.* (2018) compararon la clasificación de Köppen Modificada por García (1964) con el Sistema de Clasificación Bioclimática de la Tierra de Rivas-Martínez (1994) aplicados a México. Colotti (2000) evaluó las clasificaciones de Thornthwaite, De Fina (1950), Gaussen- Bagnouls (1957) y

Papadakis (1951), comúnmente utilizadas en Venezuela en el campo de la agroclimatología, con el fin de establecer ventajas y desventajas de aplicación.

Por otra parte, el IGAC (2004), IGAC-CENICAÑA (2005) e IGAC-CVC (2016) realizaron estudios semidetallados de suelos a escala 1:25.000 en la cuenca del río Cauca, departamento del Valle del Cauca. Los estudios permitieron conocer el origen, evolución y distribución de los suelos en la región y proporcionó una herramienta básica para los procesos de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas. Estos trabajos cuentan con una zonificación del clima edáfico generada a partir de los análisis de los regímenes de temperatura y humedad asociados a los procesos de formación de las diferentes unidades de suelos.

El presente estudio comparó dos métodos de clasificación climática comúnmente utilizados en procesos de ordenación de cuencas hidrográficas en el departamento del Valle del Cauca: Caldas-Lang y Holdridge. Para ello, se analizaron series de datos de estaciones meteorológicas ubicadas en el área hidrográfica del río Cauca: 174 para precipitación y 23 para temperatura (series de mínimo 30 años). Se probaron varios métodos de interpolación, y usando herramientas SIG, se generaron los modelos de superficie de temperatura y precipitación, y luego las zonificaciones climáticas con las clasificaciones de interés. La calidad de los métodos de interpolación se analizó mediante el Coeficiente de Determinación (R^2 Ajustado), Error Cuadrático Medio (MSE), Validación Cruzada (CV) y el Criterio de Información de Akaike (AIC).

Posteriormente, las zonificaciones climáticas de Caldas-Lang y Holdridge fueron comparadas de manera descriptiva y estadística. Este último aspecto, mediante el Criterio de Información de Akaike (AIC) y el análisis de la Devianza, el Coeficiente de Determinación (R^2 Ajustado) y el Error Cuadrático Medio (MSE). Por último, las zonificaciones climáticas en mención fueron

contrastadas con la zonificación del clima edáfico del estudio semidetallado de suelos para la zona de estudio; primero se hizo un análisis descriptivo y luego estadístico mediante la aplicación de las pruebas de Friedman y Wilcoxon.

Los parámetros de comparación estadística de las zonificaciones climáticas permitieron deducir que Holdridge fue el método de mejor ajuste a los datos utilizados. Mientras que la zonificación de Caldas-Lang presentó una mayor cantidad de provincias de humedad y unidades climáticas. Por otra parte, el contraste de las zonificaciones climáticas con la zonificación del clima edáfico mostró semejanza de ésta última con Caldas-Lang a nivel de pisos térmicos. A nivel de provincias de humedad, el análisis indicó que las zonificaciones comparadas no se asemejaban. La zonificación del clima edáfico aporta información valiosa sobre condiciones climáticas asociadas a la formación de suelos que puede complementar el análisis de las caracterizaciones climáticas de cuencas hidrográficas.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Son escasas las referencias sobre estudios de análisis comparativos entre diferentes clasificaciones climáticas para una misma zona o región; en Colombia no se evidencia ningún trabajo al respecto. Esto deja un vacío en cuanto a recomendaciones o criterios a seguir para la selección del método de clasificación más adecuado, de acuerdo con las características climáticas de una zona en particular, los objetivos del estudio o la disponibilidad de información.

Castañeda (2014) menciona que las clasificaciones climáticas, generalmente son definidas a priori debido a que asignan valores obtenidos de las estaciones meteorológicas para diferentes variables medibles a una clase preestablecida, además, que estas clasificaciones subjetivas dependen excesivamente del criterio de cada autor. Por su parte, Hashmani, García y Fontaner (1995) citado por Terán *et al.*, (1998) comentan que muchos de los modelos no espaciales utilizados se basan en el concepto de que un valor medido representa un área homogénea alrededor del punto evaluado, lo cual no siempre es cierto para el caso de grandes variaciones climáticas o topográficas. Sobre el último aspecto, cabe recordar que "es reconocido que los elementos climáticos, especialmente en los trópicos, varían en cortas distancias de acuerdo con la topografía y con otras condiciones las cuales no siempre son fáciles de tener en cuenta" (Grove (1980) citado por Terán *et al.*, 1998).

La selección del método de clasificación climática depende tanto del objetivo del estudio como de la facilidad o dificultad de su empleo (Sánchez y Garduño, 2007). Aunque no siempre los parámetros y los datos disponibles son los adecuados o suficientes, ni son afines con los propósitos de las distintas disciplinas (geografía, botánica, agronomía). No es posible definir una clasificación

climática genérica que responda a los objetivos de todas las disciplinas dada la disparidad y complejidad de criterios o enfoques (Hernández, Ordoñez y Giménez, 2018).

Las zonificaciones climáticas en estudios regionales o de mayor detalle, como en planificación de cuencas hidrográficas, exigen tanta información climática como condiciones existentes en el territorio sea necesario representar. La Organización Mundial de Meteorología (OMM, 2015) establece que la red de estaciones meteorológicas debería representar de manera satisfactoria las características climáticas de todos los tipos de terreno del territorio (por ejemplo, llanuras, regiones montañosas, mesetas, litorales e islas). Así mismo, la OMM define que las estaciones cuyos datos están destinados a determinar tendencias climáticas requieren de períodos mínimo de 30 años.

Contrario a lo anterior, es común que las estaciones meteorológicas no tengan una cobertura espacial adecuada, no dispongan de registros de todas las variables climáticas requeridas o se presenten problemas con su longitud y calidad, limitando el uso de modelos y la información que de ellos puede obtenerse (Castañeda, 2014). De acuerdo con esto, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2014) establece a través de la guía técnica para la formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas que la zonificación climática debe elaborarse a escala 1:25.000 a partir de información de estaciones meteorológicas existentes en la cuenca en un período no inferior a los últimos diez años. La entidad también señala que se utilice preferiblemente la metodología de Caldas-Lang, lo cual es concordante con lo referido por el IDEAM (2005) que menciona que dicha clasificación es la de mayor uso en el país por su practicidad y sencillez. Ninguna de las dos fuentes institucionales aporta criterios para su selección o elementos sobre las ventajas comparativas de la clasificación recomendada frente a otros métodos de uso común.

Una idea más concreta sobre las limitaciones de información para realizar estudios climáticos en cuencas hidrográficas se puede obtener mediante la revisión del Catálogo Nacional de Estaciones del IDEAM¹. En el área hidrográfica Cauca-Magdalena, la más importante del país e integrada por 149 áreas determinadas para POMCA, se encontró que hay dos cuencas sin estaciones meteorológicas, 14 cuencas con una sola estación y 12 con dos estaciones. Así mismo, para la medición de temperatura hay 32 cuencas sin ninguna estación y 48 de ellas tienen solo una. De acuerdo con la OMM (1994), la densidad mínima para estaciones pluviométricas en zonas montañosas es de 250 km² por estación. En el área hidrográfica en mención, hay 104 cuencas por fuera del parámetro antes indicado, siendo 512 km² por estación la densidad promedio de las 137 cuencas que tiene estaciones pluviométricas.

Con el anterior análisis, es evidente que en muchas cuencas hidrográficas se elaboran zonificaciones climáticas muy generales que no permiten alcanzar la escala de análisis definida por la guía técnica del MADS. Este último aspecto incide en la pertinencia de las acciones de ordenación y manejo de cuencas que se formulen, dado que la zonificación climática es un insumo fundamental para la evaluación de la capacidad de uso de tierras. A partir de dicha evaluación se determinan las características de uso y manejo de tierras y se adoptan parámetros de ordenamiento (MADS, 2014).

Por lo expuesto anteriormente, el presente estudio pretende responder la siguiente pregunta de investigación: a) ¿Cuál zonificación es mejor utilizar en procesos de ordenación de cuencas hidrográficas en el Valle del Cauca?

¹ <https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Cat-logo-Nacional-de-Estaciones-del-IDEAM/hp9r-jxuu/data>

3. JUSTIFICACIÓN

Dado el nivel de relevancia de la zonificación climática para la caracterización biofísica y la evaluación de la capacidad de uso de tierras en procesos de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, se compararon las dos clasificaciones de mayor reconocimiento en el departamento del Valle del Cauca: Holdridge y Caldas-Lang. La aplicación de las clasificaciones para la zonificación climática de la cuenca del río Cauca, departamento del Valle del Cauca, pretendía establecer semejanzas, diferencias y determinar cuál era mejor en cuanto al uso de los datos climáticos disponibles para la zona de estudio.

El análisis comparativo aporta elementos válidos y pertinentes a los entes responsables de la formulación de POMCA, y en general, a todos los interesados de adelantar estudios de caracterización climática. Para los procesos de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas resulta conveniente determinar el método de zonificación que mejor ajuste tiene a los datos climáticos disponibles, lo cual impacta positivamente sobre la calidad de los resultados de la evaluación la capacidad de uso de los suelos. Esto a su vez mejora la pertinencia de las acciones que se formulen para el uso y manejo de los suelos de las cuencas hidrográficas en ordenación.

Los resultados del trabajo contribuyen a los planteamientos de la Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas. Dicha guía establece los criterios, procedimientos y metodologías para orientar a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible en la formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas.

4. OBJETIVOS

4.1 General

Comparar las zonificaciones climáticas de Caldas-Lang y Holdridge, con la zonificación del clima edáfico del estudio semidetallado de suelos, con el fin de evaluar su utilidad y nivel de aplicabilidad en procesos de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en la cuenca del río Cauca, departamento del Valle del Cauca.

4.2 Específicos

- Elaborar las zonificaciones climáticas de Holdridge y Caldas-Lang para la cuenca del río Cauca, departamento del Valle del Cauca.
- Realizar un análisis comparativo entre la zonificación del clima edáfico del estudio semidetallado de suelos y las zonificaciones de Holdridge y Caldas-Lang para la cuenca del río Cauca, departamento del Valle del Cauca.
- Determinar la zonificación climática que presenta mayor confiabilidad en procesos de formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, en la cuenca del río Cauca, departamento del Valle del Cauca.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Estado del Arte

A nivel internacional, Colotti (2003) propuso dos métodos para precisar el uso de la clasificación climática de Holdridge cuando un sitio se encuentra en zonas de transición o cercano a los límites de dos o incluso tres zonas de vida, los cuales son representados por hexágonos en el diagrama o nomograma de Holdridge. El primer método, denominado solución matemática, utiliza un algoritmo para comparar las coordenadas bioclimáticas de un sitio con las coordenadas centroidales hexagonales y asignar la denominación de la zona de vida correspondiente de acuerdo con la menor distancia al punto centroidal. El segundo método, llamado solución gráfica, utiliza un nomograma digital y el ploteo de los sitios de interés para que mediante acercamientos se verifique a que zona de vida corresponden.

Hurtado y Suntaxi (2013) utilizaron tres técnicas de agrupación de zonas homogéneas: Geomática, Estadística e Hidrológica-Estadística. La primera (zonificación espacial) tiene su fuerte en el análisis espacial por el tipo de información que se utiliza; la segunda (clustering) analiza series de tiempo de estaciones y hace agrupaciones por el parecido entre ellas a partir la distancia euclidiana, la tercera (vector regional) analiza la correlación de las estaciones respecto a un vector regional que es una estación ficticia que representa una zona climática homogénea. Con la primera técnica se hallaron cinco zonas espacialmente homogéneas y con la segunda tres. Con la aplicación del vector regional se formaron grupos acordes a la zonificación espacial (primera técnica) y también con base a su cercanía para proceder a generar 72 vectores regionales distribuidos en las diferentes zonas, la correlación general de las estaciones por zonas fue de 0.85. Por tanto, los resultados de la segunda y tercera técnica han validado a la primera.

Pérez, Amador y Alfaro (2017), utilizaron información de 82 estaciones meteorológicas con registros de mínimo diez años, para elaborar clasificaciones climáticas en la vertiente Caribe de Costa Rica utilizando los métodos de Thornthwaite y Hargreaves. Los autores recomendaron el uso de la clasificación climática de Thornthwaite, pero calculando la ETP mediante el método de Hargreaves. De acuerdo con Pérez y colaboradores, esta última toma en cuenta más variables físicas como la diferencia entre la temperatura mínima anual y temperatura máxima anual, haciéndola más robusta en sus resultados en comparación a la ETP de Thornthwaite.

Hernández, Ordoñez y Giménez (2018) compararon las clasificaciones de Köppen Modificado (SM) por García (1964) con el Sistema de Clasificación Bioclimática de la Tierra (WBCS) de Rivas-Martínez (1994) aplicados a México. Analizaron los datos de 1.303 estaciones climatológicas con más de 30 años de información. La comparación de las clasificaciones confirmó concordancias en las condiciones de humedad por la similitud de sus índices, pero diferencias en aspectos de temperatura, por el uso de codificaciones que abordan elementos incompatibles. En cuanto a las condiciones de humedad hay más subdivisiones en el SM, ya que varios subtipos y subgrupos quedan incluidos en una jerarquía del WBCS. No igual en los rangos de temperatura; ya que en el SM tienen límites más amplios. Las coincidencias encontradas entre estos dos sistemas permiten considerar que pueden complementarse en el caso de México, aportando una mejor delimitación de las condiciones de temperatura y humedad.

A nivel nacional, Eslava, López y Olaya (1986), elaboraron varios trabajos para caracterizar los climas de Colombia utilizando las clasificaciones de Köppen, Thornthwaite, Caldas-Lang y Martonne. El IGAC (1977) utilizó la clasificación climática de Holdridge para describir las zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia. Por su parte, Narváez y León (2001) realizaron la

caracterización y zonificación climática de la Región Andina colombiana, describiendo los principales patrones atmosféricos que influyen en la región y juegan un papel determinante en el comportamiento del clima. La zonificación se hizo a partir del trabajo elaborado por Mesa, Poveda y Carvajal (1997) que analizaron las características regionales y locales de la zona Andina, y la confrontación de datos con estaciones meteorológicas representativas.

Barón (2003) elaboró un modelo geoespacial para representar la distribución de las variables climatológicas en el territorio colombiano a partir de información de 235 estaciones para temperatura y 1575 para precipitación, para el periodo comprendido entre los años 1960 y 1990. Calculó los gradientes verticales de temperatura y las funciones que relacionaron la precipitación con la altitud. Con base en los datos de altitud obtenidos del Modelo de Elevación Digital, calculó los valores de temperatura y de precipitación interpolándolos para generar modelos geoespaciales mensuales. La relación temperatura y altitud arrojó gradientes de 0,47 y 0,64 °C por cada 100 metros de altitud para la Región Pacífica y Andina, respectivamente.

El IDEAM (2005) elaboró el Atlas Climatológico de Colombia que incluyó mapas con la clasificación de Köppen, Thornthwaite y Caldas-Lang. Por su parte, el IGAC (2014) presentó la zonificación climática de Colombia empleando las clasificaciones de Caldas-Lang, Martonne y Holdridge.

Álzate, Araujo, Rojas, Gómez y Martínez (2017) utilizaron el modelo regionalizado de lluvia Regionalisierte Niederschläge (Regnie) para interpolar la lluvia y la temperatura media del aire de las regiones Andina, Caribe y Pacífica de Colombia. Este modelo integró los datos de la pendiente y exposición del terreno obtenido del modelo digital de elevación, así como los promedios climatológicos de 1440 series de precipitación y 258 series de temperatura registradas en igual

número de estaciones meteorológicas de superficie para cada variable. Se establecieron los modelos de regresión lineal múltiple de la precipitación media anual y temperatura media anual del aire, además se utilizaron herramientas de geoprocésamiento para la generación de las superficies interpoladas

A nivel regional, el IDEAM (2005) generó modelos de distribución espacial de temperatura y precipitación, a partir de 18 estaciones climáticas. Dichos modelos fueron de tipo esquemático y de carácter general, considerando la poca representatividad de estaciones meteorológicas utilizadas para el estudio. La CVC y la Fundación Agua Viva -FUNAGUA (2010) realizaron el análisis preliminar de la representatividad ecosistémica del departamento del Valle del Cauca, abordando dos componentes. El primero, la delimitación geográfica de los biomas a partir de la integración y análisis SIG de la información de piso térmico, clima, geología, geomorfología, suelos y cobertura potencial, obteniendo 8 unidades para el departamento. El segundo componente consistió en desagregar los biomas en ecosistemas a partir de los tipos de cobertura potencial, clima y geomorfología, arrojando un total de 35 ecosistemas para el departamento.

La Universidad del Valle (2014) elaboró el estudio sobre isoyetas de precipitación máxima durante las crecientes históricas del río Cauca en su valle alto para el periodo 1988-2011. El estudio analizó los tres y seis días consecutivos más lluviosos durante los periodos de las crecientes ocurridas después de la construcción de la represa de regulación de La Salvajina, ubicada en el departamento del Cauca. En este estudio, se evidenció como la conformación orográfica del valle del río Cauca, que se encuentra entre dos cordilleras, induce la formación de climas locales y regionales muy diversos en un espacio geográfico muy pequeño, además de su interrelación con el desplazamiento de la zona de convergencia intertropical (ZCIT).

5.2 Marco Conceptual

La Organización Meteorológica Mundial (1992) define el clima como el “conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evoluciones del tiempo de un área determinada”. El IDEAM (2007) dice que el término clima puede variar dependiendo del contexto y la interpretación que hagan especialistas temáticos o el público en general. No obstante, considera que el clima es el “estado promedio de la atmósfera, representado por el conjunto fluctuante de los elementos y fenómenos meteorológicos referidos a un determinado y suficientemente largo periodo en un área específica, y que dichos elementos se caracterizan por un desarrollo y una evolución en el tiempo”.

5.2.1 Interpolación Espacial

En Climatología se trabaja a partir de variables puntuales medidas a través de un conjunto de estaciones meteorológicas distribuidas irregularmente por la zona de estudio. El propósito es obtener valores continuos para las variables climáticas estudiadas a partir de datos discretos (Figura 1). La interpolación espacial se encarga de este proceso mediante la estimación de valores de una variable en celdas de una malla regular a partir de los valores conocidos de la variable en una serie de puntos, asignándole a cada celda un valor en función de los datos cercanos (Núñez, 2009). Debido al alto costo de la información de estaciones y dado que la disposición de datos es limitada, se tiene que usar algún tipo de método de interpolación para estimar los valores en aquellos lugares donde no se obtuvieron muestras ni medidas (Barón, 2003).

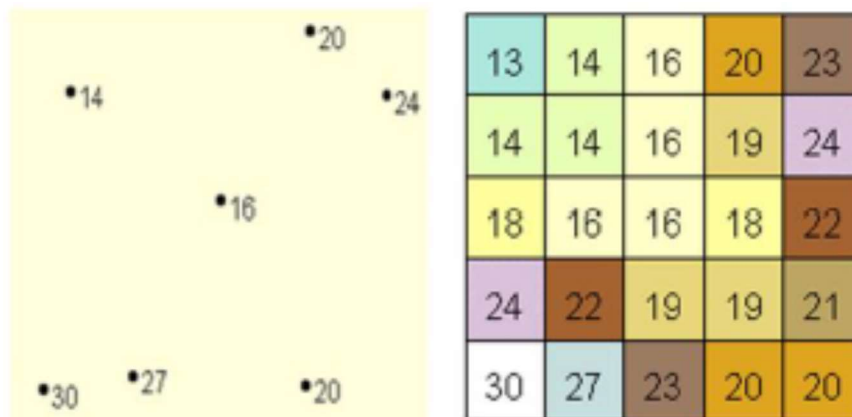


Figura 1. Ilustración interpolación espacial. Izquierda: datos puntuales de entrada. Derecha: superficie de interpolación (Fuente: ArcGIS Resource Center).

Entre los métodos de interpolación habituales se distinguen los deterministas, que estiman los valores de la variable de forma puramente matemática teniendo en cuenta únicamente criterios geométricos de vecindad entre valores, y los estocásticos, que además de criterios geométricos tienen también en cuenta la estructura espacial de los datos de muestra. El uso de métodos estocásticos en el análisis espacial se conoce como geoestadística (Olivares, 2015). Un principio básico de la interpolación es que a pequeñas distancias los valores de una variable tienen más posibilidad de ser parecidas que a grandes distancias (Montoya, 2000).

Los sistemas de información geográfica han pasado de hacer análisis estadísticos clásicos a procesos donde la relación espacial es fundamental para la modelación de comportamientos. Es así como los SIG evolucionaron como herramienta de apoyo a análisis geoestadísticos que permiten comprender la continuidad espacial y su variación estadística para mejorar la predicción de la respuesta de un atributo en puntos no muestreados (Burrough (2001) citado por Diodato, Tartari y Bellocchi (2010).

Muchos métodos de interpolación de datos no consideran el efecto de la orografía, lo que da como resultado isolíneas de variables no influidas por el relieve al que están relacionadas. En ese sentido, métodos como el Regionalizado de Lluvia (Regnie) combinan un modelo de regresión lineal múltiple y el IDW que se desarrolló a partir de estudios donde se analizó la influencia del relieve en la hidrología e hidrometeorología (Álzate *et al.*, 2017). Este tipo de métodos son fundamentales en los análisis climáticos del país, considerando su sistema orográfico complejo, con cercanía a dos grandes océanos y la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).

5.2.2 Clasificaciones climáticas

Las clasificaciones climáticas son frecuentemente utilizadas para agrupar o diferenciar comportamientos de uno o más elementos meteorológicos en el tiempo y en el espacio (IDEAM, 2007). Constituyen una herramienta importante para biólogos en trabajos de ecología, botánica, zoología y evolución; también se utilizan en agronomía, veterinaria, medicina, ingeniería, arquitectura y economía, entre otras áreas (Sánchez y Garduño, 2007).

La utilidad de una zonificación climática depende de la medida en que refleje las restricciones climáticas que gobiernan el proceso físico de interés. Si, por ejemplo, los procesos de interés son los flujos de cuencas o ríos y su relación con la producción agrícola, ambos dependen de los aportes de precipitación y energía (temperatura y radiación), elementos relacionados con el clima (Forsythe *et al.*, 2015).

Se considera que el mayor avance sobre el tema de las clasificaciones climáticas fue introducido por Alexander Supan en el siglo XIX, quien fundamentó su zonificación en las temperaturas reales a cambio de las teóricas. Estableció tres categorías distribuidas en franjas latitudinales: el cinturón caliente (ecuador térmico), dos cinturones templados (trópicos de Cáncer y Capricornio) y dos cinturones fríos (aledaños a los templados y llegan hasta los polos boreal y austral). A partir de esta propuesta, se observan dos grandes tendencias de clasificación: las genéticas, fundamentadas en factores que generan la diversidad climática (masas de aire, circulación de la atmósfera y radiación solar). También están las denominadas empíricas, que se basan en elementos del clima combinados en índices, por ejemplo, grado de temperatura y humedad (Sánchez y Garduño, 2007).

El IDEAM (2005) recopiló las clasificaciones climáticas de mayor reconocimiento en el país, a saber, Köppen, Thornthwaite, Caldas, Lang, Caldas-Lang, Martonne y Holdridge. Estas clasificaciones están basadas principalmente en el comportamiento medio de la precipitación y la temperatura. Las clasificaciones de Köppen y Thornthwaite son las más usadas en estudios de agrometeorología, geografía y estudios climáticos en general (De Oliveira *et al.*, 2016).

5.2.2.1 Clasificación de Caldas

La clasificación de mayor reconocimiento en Colombia fue concebida por Francisco José de Caldas en 1802. Su aplicabilidad es exclusiva para el trópico americano. Considera únicamente la variación de la temperatura con la altura para la definición de pisos térmicos, los cuales se relacionan a continuación (IDEAM, 2005).

Tabla 1. *Clasificación de Caldas (Tomado de IDEAM, 2005).*

Piso Térmico	Símbolo	Rango de altura (msnm)	Temperatura (°C)	Variación de la altitud por condiciones locales °C
Cálido	C	0 a 1.000	$T \geq 24$	Límite superior ± 400
Templado	T	1.001 a 2.000	$24 > T \geq 17.5$	Límite superior ± 500 Límite inferior ± 500
Frío	F	2.001 a 3.000	$17.5 > T \geq 12$	Límite superior ± 400 Límite inferior ± 400
Páramo bajo	Pb	3.001 a 3.700	$12 > T \geq 7$	
Páramo alto	Pa	3.701 a 4.200	$T < 7$	

5.2.2.2 Clasificación de Lang

La clasificación de Richard Lang que fue ideada en 1915, se basa en los valores medios anuales de temperatura y precipitación. El cociente de estos parámetros se denomina Factor de Lang y se utiliza para definir seis clases de clima que se presentan enseguida (IDEAM, 2005).

Tabla 2. *Clasificación de Lang (Tomado de IDEAM, 2005).*

Factor de Lang (P/T)	Clase de Clima	Símbolo
0 a 20.0	Desértico	D
20.1 a 40.0	Árido	A
40.1 a 60.1	Semiárido	Sa
60.1 a 100.0	Semihúmedo	Sh
100.1 a 160.0	Húmedo	H
Mayor que 160.0	Superhúmedo	SH

5.2.2.3 Clasificación de Caldas-Lang

En 1962 Paul Schaufelberguer combinó las clasificaciones propuestas por Lang y Caldas, obteniendo 25 tipos de climas (Tabla 3) que correlacionan la elevación del lugar, la temperatura media anual y la precipitación total media anual (IDEAM, 2005).

Tabla 3. *Clasificación de Caldas-Lang (Tomado de IDEAM, 2005).*

Tipo climático	Símbolo
Cálido Superhúmedo	CSH
Cálido Húmedo	CH
Cálido Semihúmedo	CsH
Cálido Semiárido	Csa
Cálido Árido	CA
Cálido Desértico	CD
Templado Superhúmedo	TSH
Templado Húmedo	TH
Templado Semihúmedo	Tsh
Templado Semiárido	Tsa
Templado Árido	TA
Templado Desértico	TD
Frío Superhúmedo	FSH
Frío Húmedo	FH
Frío Semihúmedo	Fsh
Frío Semiárido	Fsa
Frío Árido	FA
Frío Desértico	FD
Páramo Bajo Superhúmedo	PBSH
Páramo Bajo Húmedo	PBH
Páramo Bajo Semihúmedo	PBsh
Páramo Bajo Semiárido	Pbsa
Páramo Alto Superhúmedo	PASH
Páramo Alto Húmedo	PAH
Nieves Perpetuas	NP

5.2.2.4 *Clasificación de Holdridge*

La clasificación de Holdridge asocia diversos tipos vegetales a las variables climáticas principales; es una de las más utilizadas para conocer la zona ecológica o de vida a la que pertenece una determinada área de estudio. Dicha zona es establecida por los valores medios anuales de biotemperatura (BT) y precipitación (P) asociados a la latitud y la altitud, los cuales se interceptan en un diagrama triangular (Figura 2) denominado el nomograma de Holdridge (IDEAM, 2005).

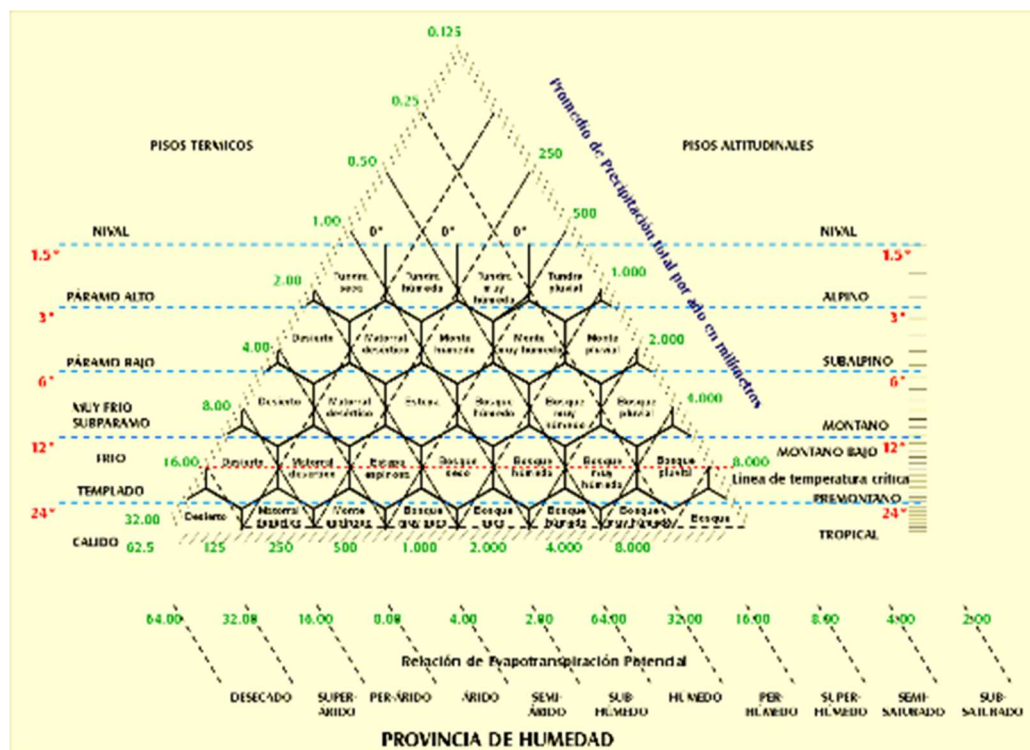


Figura 2. Nomograma de Holdridge (Tomado de Holdridge, 1978).

Las zonas de vida están representadas en el nomograma por hexágonos que se forman a partir de las mediatrices dibujadas en cada triángulo formado por la intersección de la biotemperatura (BT) (líneas horizontales) y la precipitación (P) (líneas inclinadas izquierda), variables que son la base para calcular la Relación de Evapotranspiración Potencial (ETP) (líneas inclinadas derecha). Las escalas de las variables son logarítmicas y diseñadas sobre ejes no ortogonales que forman un ángulo de 60°. Las escalas logarítmicas inclinadas de ETP y P conforman un triángulo que funge de envolvente a un conjunto de hexágonos y semihexágonos, los cuales son los equivalentes geométricos de las unidades climáticas de primer orden denominadas zonas de vida (Rodríguez y Colotti, 1998).

De acuerdo con el IDEAM (2005), la clasificación de Holdridge se desarrolló en condiciones tropicales y se ajusta bien en la descripción de las condiciones climáticas de la mayoría de las

regiones del país. Sin embargo, algunos tipos de clima no son aplicables a Colombia, pues prácticamente no hay regímenes con menos de 250 mm anual y climas como desierto húmedo tropical, matorral desértico premontano o tundra seca alpina no han sido identificados en áreas significativas del país. La Tabla 4 muestra la clasificación de Holdridge acondicionada a los conceptos comúnmente utilizados en climatología en el país, incluida la leyenda usada en los mapas (IDEAM, 2005).

Tabla 4. *Clasificación de Holdridge (Tomado de IDEAM, 2005).*

SÍMBOLO	ZONA DE VIDA	T° C	LLUVIA	ALTURA	LEYENDA CLIMA
d-T	Desierto Tropical	> 24	62.5 a 125	0 a 1.000	Cálido árido
Md-ST	Matorral desértico subtropical	> 24	125 a 250	0 a 1.000	Cálido árido
Me-ST	Monte espinoso subtropical	> 24	250 a 500	0 a 1.000	Cálido semiárido
Bms-T	Bosque muy seco tropical	> 24	500 a 1.000	0 a 1.000	Cálido muy seco
Bs-T	Bosque seco tropical	> 24	1.000 a 2.000	0 a 1.000	Cálido seco
Bh-T	Bosque húmedo tropical	> 24	2.000 a 4.000	0 a 1.000	Cálido húmedo
Bmh-T	Bosque muy húmedo tropical	> 24	4.000 a 8.000	0 a 1.000	Cálido muy húmedo
Bp-T	Bosque pluvial tropical	> 24	> 8.000	0 a 1.000	Cálido pluvial
d-PM	Desierto premontano	18 a 24	62.5 a 125	1.000 a 2.000	Templado muy seco
Md-PM	Matorral desértico premontano	18 a 24	125 a 250	1.000 a 2.000	Templado muy seco
Me-PM	Matorral espinoso premontano	18 a 24	250 a 500	1.000 a 2.000	Templado muy seco
Bs-PM	Bosque seco premontano	18 a 24	500 a 1.000	1.000 a 2.000	Templado seco
Bh-PM	Bosque húmedo premontano	18 a 24	1.000 a 2.000	1.000 a 2.000	Templado húmedo
Bmh-PM	Bosque muy húmedo premontano	18 a 24	2.000 a 4.000	1.000 a 2.000	Templado muy húmedo
Bp-PM	Bosque pluvial premontano	18 a 24	> 4.000	1.000 a 2.000	Templado pluvial
d-MB	Desierto montano bajo	12 a 18	62.5 a 125	2.000 a 2.500	Frío muy seco
Md-MB	Matorral desértico montano bajo	12 a 18	125 a 250	2.000 a 2.500	Frío muy seco
Ee-MB	Estepa espinosa montano bajo	12 a 18	250 a 500	2.000 a 2.500	Frío muy seco
Bs-Mb	Bosque seco montano bajo	12 a 18	500 a 1.000	2.000 a 2.500	Frío seco
Bh-MB	Bosque húmedo montano bajo	12 a 18	1.000 a 2.000	2.000 a 2.500	Frío húmedo
Bmh-MB	Bosque muy húmedo montano bajo	12 a 18	2.000 a 4.000	2.000 a 2.500	Frío muy húmedo
Bp-MB	Bosque pluvial montano bajo	12 a 18	> 4.000	2.000 a 2.500	Frío pluvial
d-M	Desierto montano	6 a 12	62.5 a 125	2.500 a 3.000	Muy frío seco
Md-M	Matorral desértico montano	6 a 12	125 a 250	2.500 a 3.000	Muy frío seco
e-M	Estepa montana	6 a 12	250 a 500	2.500 a 3.000	Muy frío seco
Bh-M	Bosque húmedo montano	6 a 12	500 a 1.000	2.500 a 3.000	Muy frío húmedo
Bmh-M	Bosque muy húmedo montano	6 a 12	1.000 a 2.000	2.500 a 3.000	Muy frío muy húmedo

SÍMBOLO	ZONA DE VIDA	T° C	LLUVIA	ALTURA	LEYENDA CLIMA
Bp-M	Bosque pluvial montano	6 a 12	> 2.000	2.500 a 3000	Muy frío pluvial
d-SA	Desierto subalpino	3 a 6	62.5 a 125	3.000 a 3.500	Subpáramo muy seco
Md-SA	Matorral desértico subalpino	3 a 6	125 a 250	3.000 a 3.500	Subpáramo seco
Mh-SA	Monte húmedo subalpino	3 a 6	250 a 500	3.000 a 3500	Subpáramo húmedo
p-SA	Páramo subalpino	3 a 6	500 a 1.000	3.000 a 3500	Subpáramo muy húmedo
Pp-SA	Páramo pluvial subalpino	3 a 6	> 1.000	3.000 a 3.500	Subpáramo pluvial
Ts-A	Tundra seca alpina	1.5 a 3.0	62.5 a 125	3.500 a 4.500	Páramo seco
Th-A	Tundra húmeda alpina	1.5 a 3.0	125 a 250	3.500 a 4.500	Páramo húmedo
Tmh-A	Tundra muy húmeda alpina	1.5 a 3.0	250 a 500	3.500 a 4.500	Páramo muy húmedo
Tp-A	Tundra pluvial	1.5 a 3.0	> 500	3.500 a 4.500	Páramo pluvial
N	Nieve	0 1.5	> 0	> 4.500	Nival

5.2.3 Zonificación del clima edáfico

El IGAC, rector a nivel nacional para la realización de estudios de suelos, basa sus trabajos en la clave taxonómica establecida por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés). La metodología para el levantamiento semidetallado de suelos (IGAC, 2016) implica la aplicación e interpretación de conceptos genéricos (Figura 3) a través de tres fases de trabajo: precampo, campo y postcampo.

NIVEL	CATEGORIA	CONCEPTO GENERICO	NIVEL DE ABSTRACCIÓN
6	ORDEN	GEOESTRUCTURA	GENERALIZACIÓN (MENOS ATRIBUTOS) ↑ ↓ CONCRETIZACIÓN (MÁS ATRIBUTOS)
5	SUBORDEN	AMBIENTE MORFOGENETICO	
4	GRUPO	TIPO DE PAISAJE	
3	SUBGRUPO	TIPO DE RELIEVE	
2	FAMILIA	LITOLOGIA	
1	SUBFAMILIA	FORMA DEL TERRENO	

Figura 3. Proceso de detalle para levantamientos de suelos (Fuente, IGAC, 2014).

En la fase precampo se recolecta y analiza la información básica y material cartográfico que se utiliza como soporte previo para la definición de las unidades cartográficas de suelos. A partir de ésta información se realiza la fotointerpretación, mediante el análisis geomorfológico, se delimitan y clasifican las unidades geomorfológicas, cuyos límites corresponden en buena medida con los límites de suelos y se constituyen en la base de la fase de campo.

La fase de campo implica realizar las observaciones de compilación de datos sobre el medio natural (geología, geomorfología, pendiente del terreno, drenaje, entre otros) que son fundamentales como factores de formación de los suelos. Con el análisis de estos datos se elaboran los modelos edafogenéticos para formular las hipótesis sobre los tipos de suelos y sus posibles patrones de distribución. Las observaciones de campo son de dos tipos: identificación y comprobación. Las de identificación se hacen mediante calicatas o taludes existentes, y se describen las características tanto externas como internas de los horizontes del suelo, además, se toman muestras para análisis de laboratorio. Las de comprobación se hacen a partir de barrenados y cajuelas para verificar las unidades taxonómicas delimitadas previamente a través de las observaciones detalladas; se hacen los ajustes a los límites cartográficos y sus respectivos componentes taxonómicos (Figura 4).

Con base en las fases de campo y los resultados de los análisis de laboratorio se construye la base de datos de la capa geográfica de suelos que incluye los atributos de regímenes de humedad y la temperatura edáfica. Estos se fijan a partir de las características morfológicas, las propiedades físicas y químicas relacionadas con el drenaje natural, la presencia del nivel freático y el régimen o patrón de lluvias y su distribución a través del mismo período de tiempo. Los regímenes de humedad se clasifican de acuerdo con los periodos de permanencia de agua en el suelo como se

ilustra en la Tabla 5. Por su parte, los regímenes de temperatura se clasifican de acuerdo con los periodos de temperatura a 50 cm de profundidad como se ilustra en la Tabla 6 (IGAC, 2014).



Figura 4. Tipos de observaciones de campo estudio semidetallados de suelos. Izquierda: Perfil de suelo; Superior derecha: Barrenado; Inferior derecha: Cajuela (Fuente, IGAC-CVC, 2016).

Tabla 5. Regímenes de humedad estudios de suelos (Tomado de IGAC, 2014).

Régimen	Periodo Húmedo	Periodo Seco	Provincia Humedad
Arídico	< 90 días consecutivos		Muy seco
Ustico	> a 90 días consecutivos o 180 días acumulativos	> a 90 días acumulativos	Seco
Udico	> a 270 días acumulativos	< a 90 días acumulativos	Húmedo
Hiperudico	Extremadamente húmedo. En todos los meses $P_p > ETP$		Muy húmedo
Acuico	Saturado de agua sin oxígeno durante al menos parte del periodo de actividad biológica		Pluvial

Tabla 6. *Regímenes de temperatura estudios de suelos (Tomado de IGAC, 2014).*

Régimen	Temperatura Media Anual a 50 cm del Suelo (°C)	Zona Térmica
Frígido e Isofrígido	< 8	Muy frío
Mésico e Isomésico	8 - 15	Frío
Térmico e Isotérmico	15 - 22	Templado
Hipertérmico e Isohipertérmico	> 22	Cálido

La unidad climática en el estudio de suelos comprende aquellas tierras cuya temperatura media anual y humedad disponible son lo suficientemente homogéneas para reflejarse en una génesis específica de los suelos, por ende, en su cobertura vegetal o en el uso actual de la tierra (Villota, 1992).

5.3 Marco Normativo

El artículo 79 de la Constitución Política de Colombia establece que "Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano.....Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines". El artículo 80 de la Carta Magna señala que "El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución".

El artículo 316 del Decreto-ley 2811 de 1974 por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, definió la ordenación de una cuenca como "la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna, y por manejo de la cuenca, la ejecución de obras y tratamientos".

El artículo 5° de la Ley 99 de 1993 definió que le corresponde al Ministerio del Medio Ambiente, establecer las reglas y criterios de ordenamiento ambiental de uso del territorio y de los mares adyacentes, para asegurar el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del medio ambiente. Así mismo, que expedirá y actualizará el estatuto de zonificación de uso adecuado del territorio para su apropiado ordenamiento y fijará las pautas generales para el ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas y demás áreas de manejo especial.

El Decreto 1729 de 2002 reglamentó la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-Ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas y parcialmente el numeral 12 del artículo 5° de la Ley 99 de 1993, en relación con el estatuto de zonificación de uso adecuado del territorio.

Por otra parte, la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, expedida en marzo de 2010 por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, estructuró un modelo espacial para una ordenación coherente de las cuencas hidrográficas, estableciendo las siguiente escalas: 1) Cuencas objeto de planificación estratégica. Corresponde a las cinco macrocuencas o áreas hidrográficas Magdalena–Cauca, Caribe, Orinoco, Amazonas y Pacífico, 2) Cuencas objeto de instrumentación y monitoreo a nivel nacional: Corresponden a las 42 zonas hidrográficas, 3) Cuenca objeto de ordenación y manejo: Corresponde a las cuencas de nivel igual o subsiguiente al de las denominadas subzonas hidrográficas, en la cuales se formularán e implementarán los planes de manejo y ordenación de cuencas, de manera priorizada, y 4) Cuencas y acuíferos objeto de Plan de Manejo Ambiental: Corresponde a las cuencas de orden inferior a las subzonas hidrográficas así como los acuíferos prioritarios, las cuales serán objeto de planes de manejo.

La Ley 1450 de 2011 por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo, 2010- 2014, en su artículo 215 señaló que "corresponde a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible la formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de las Cuencas Hidrográficas conforme a los criterios establecidos por el Gobierno Nacional en cabeza del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o quien haga sus veces".

El Artículo 1° del Decreto 1640 de 2012 emanado del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible reglamenta el artículo 316 del Decreto-Ley 2811 de 1974, en relación con los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos del país, de conformidad con la estructura definida en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. El artículo 4° establece la siguiente estructura hidrográfica: 1) Áreas Hidrográficas o Macrocuencas, 2) Zonas Hidrográficas, 3) Subzonas Hidrográficas o su nivel subsiguiente, y 4) Microcuencas y Acuíferos.

El artículo 5° del mismo Decreto, establece que los instrumentos que se implementarán para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos establecidos en la estructura del artículo anterior, son: 1) Planes Estratégicos, en las Áreas Hidrográficas o Macrocuencas, 2) Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico, en las Zonas Hidrográficas, 3) Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, en Subzonas Hidrográficas o su nivel subsiguiente, 4) Planes de Manejo Ambiental de Microcuencas, en las cuencas de nivel inferior al del nivel subsiguiente de la Subzona Hidrográfica, y 5) Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos.

El artículo 18 define el Plan de ordenación y manejo de la Cuenca como un “Instrumento a través del cual se realiza la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la

fauna y el manejo de la cuenca entendido como la ejecución de obras y tratamientos, en la perspectiva de mantener el equilibrio entre el aprovechamiento social y económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente del recurso hídrico”. En el párrafo 1° del mencionado artículo, se establece que es función de las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible la elaboración de los Planes de Ordenación y Manejo de las Cuencas Hidrográficas de su jurisdicción, así como la coordinación de la ejecución, seguimiento y evaluación de los mismos.

Dando alcance al Decreto 1640 de 2012, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible presentó la Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas con el propósito de establecer criterios, procedimientos y metodologías para orientar a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible en la formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas.

La Resolución 1575 del 2 de diciembre de 2016 “por la cual se adoptan los lineamientos técnicos para la validación por parte del Instituto Geográfico Agustín Codazzi como máxima autoridad en levantamiento de suelos y aplicaciones agrológicas a diferentes escalas”.

Finalmente, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca emitió la Resolución 0100 No. 500-0355 de 2018 “Por medio de la cual se regula la conformación y funciones del comité técnico para la formulación o ajuste de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas -POMCA y se adoptan otras disposiciones”. Dicho acto administrativo modificó parcialmente las funciones del comité técnico para la formulación de POMCA, a través de la Resolución 0100 No. 500-0362 de 2018.

6. METODOLOGÍA

6.1 Área de Estudio

El área de estudio corresponde a la fracción de la cuenca del río Cauca en el departamento del Valle del Cauca (Figura 5). Comprende 10.738 km² que están distribuidos entre el valle geográfico del río Cauca y las vertientes occidental de la Cordillera Central y oriental de la Cordillera Occidental. Presenta altitudes que varían entre 900 msnm en el cauce del río al norte del departamento y 4.200 msnm en la parte más alta de la Cordillera Central (CVC, 2015). Esta región presenta una alta variabilidad climática y física, así como marcados gradientes climáticos a lo largo de las vertientes de las Cordilleras (Molina Benavides *et al.* 2016).

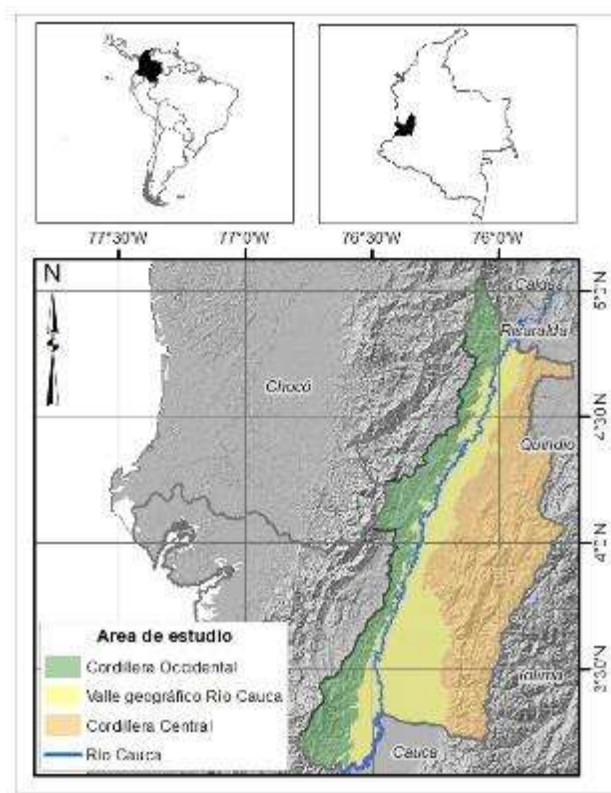


Figura 5. Área de estudio (izquierda) y distribución de estaciones climáticas (derecha).

6.2 Datos utilizados

Para evitar anomalías en las zonas más externas del área de estudio debido a la ausencia de datos, esta se amplió a una franja de 30 Km. Se verificó la disponibilidad de información en la red de estaciones meteorológicas del Valle del Cauca operada por el IDEAM y la CVC (Anexo 1). De esa manera, se compilaron datos de 111 estaciones para la variable temperatura y de 390 estaciones para precipitación (Figura 6).

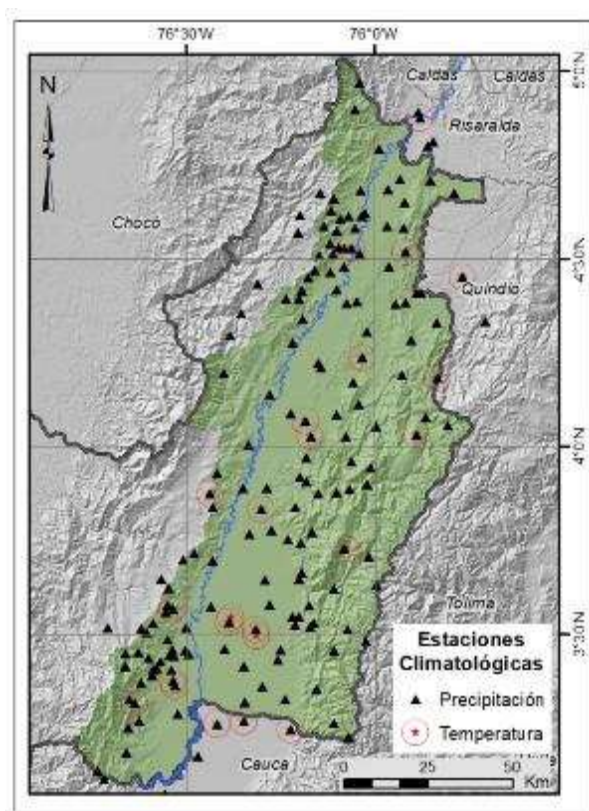


Figura 6. Ubicación estaciones meteorológicas en el área de estudio.

6.3 Tratamiento de Datos Climáticos

De acuerdo a lo definido por la Organización Mundial de Meteorología (OMM, 2015) para determinar tendencias climáticas es necesario un período de registros de mínimo 30 años. Aplicando criterios de la OMM (2011) se procedió a organizar cronológicamente las series de

datos por variable climática. Con apoyo gráfico se identificaron continuidad, discontinuidad o vacíos en las series de datos (Figura 7).

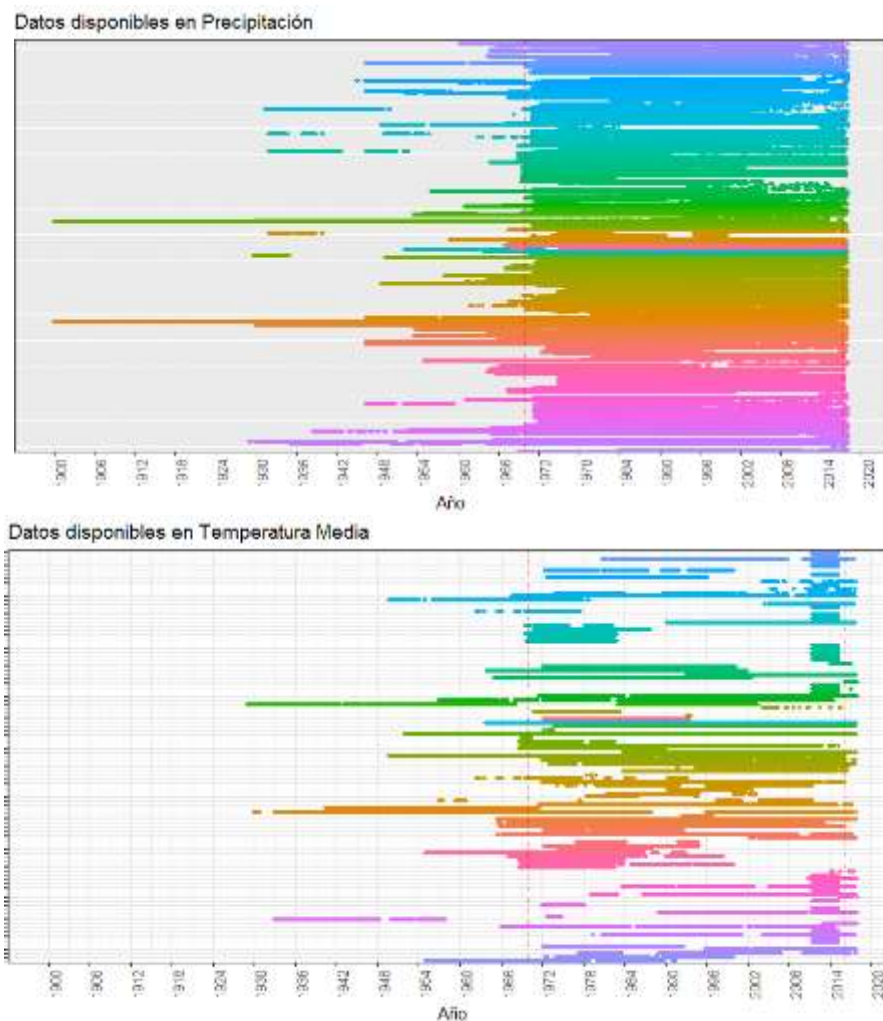


Figura 7. Gráfico de disponibilidad de datos climáticos. Arriba: Precipitación. Abajo: Temperatura.

Considerando el periodo de interés de 30 años, se descartaron estaciones con 50% o más de información faltante. Se seleccionaron series con menos de 30% de datos faltantes, descartando estaciones muy jóvenes o con muy poca información. El rango restante de estaciones entre 30 y 50% de datos faltantes se conservaron para posteriores validaciones o como información de apoyo.

6.3.1 Control de calidad

Una vez identificado el periodo de datos continuos de 30 años (1980-2010), se procedió a realizar el control de calidad a los mismos. Dentro del control de calidad existen varios métodos que permiten analizar qué tan raros son los datos de acuerdo a su propia historia y saber si son observaciones atípicas pero posibles, o por el contrario, extremas y descartables. Un dato atípico no necesariamente debe eliminarse, por lo que es necesario emplear varios métodos de detección para determinar qué hacer con ellos (OMM, 2011). Los métodos empleados fueron:

Filtros gruesos: Se estableció un rango de valores lógicos y posibles para cada variable según recomendaciones de la literatura y trabajos realizados en la zona de estudio. Los valores iniciales definidos fueron: temperaturas entre 0° y 50° centígrados, y precipitaciones mensuales entre 0 y 900 mm. Mediante ayuda gráfica se identificaron y descartaron datos imposibles en las series de datos de cada variable climática (Figuras 8 y 9). Los gráficos contenían el valor mínimo, la media y el valor máximo como una línea vertical dividida por un gran punto que indica la mediana de los datos.

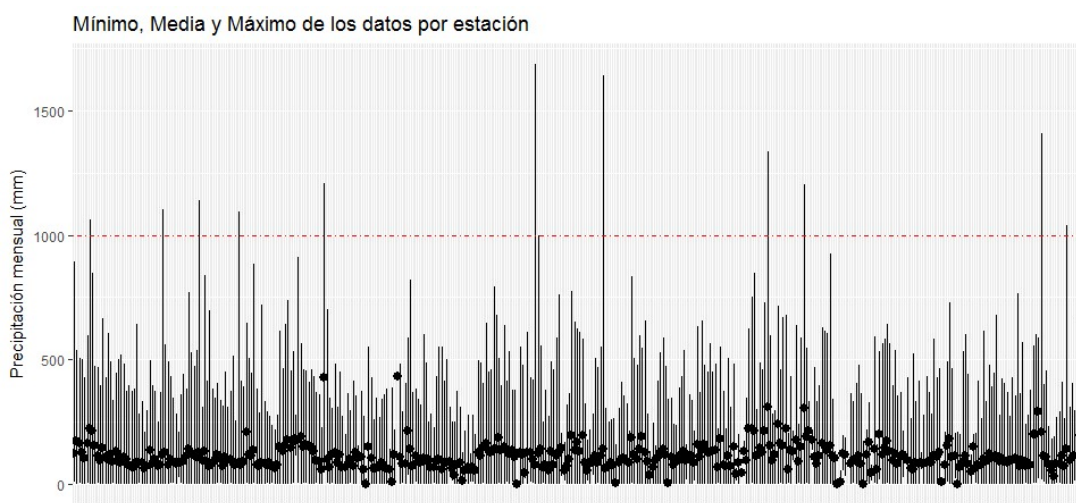


Figura 8. Ayuda gráfica para la identificación de valores atípicos de precipitación (filtro grueso).

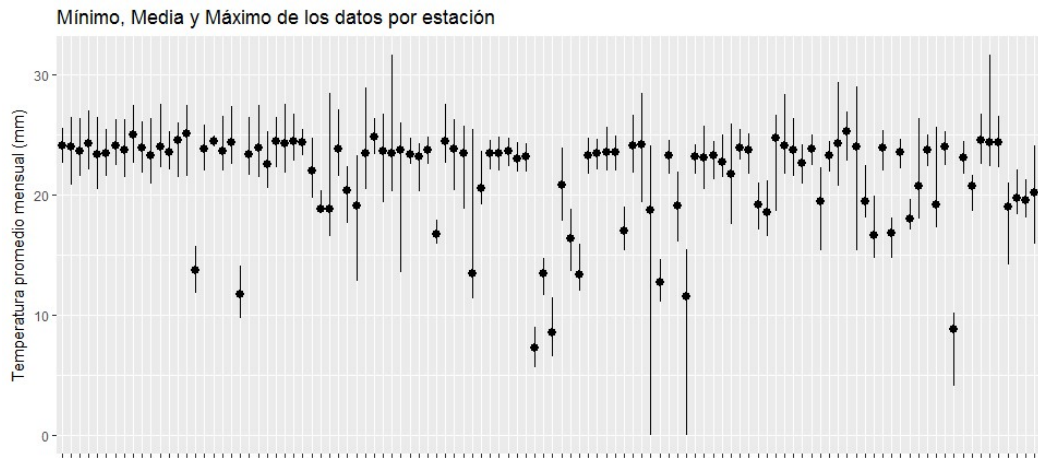


Figura 9. Ayuda gráfica para la identificación de valores atípicos de temperatura (filtro grueso).

Desviaciones estándar: Bajo el supuesto de que los datos siguen una distribución normal y que a tres desviaciones se encuentra el 99.6% de los datos, se determinó si un valor de temperatura era “raro” si se encontraba a más de tres desviaciones estándar de la media. Debido a que la precipitación es mucho más variable que la temperatura, se marcaron como sospechosos los valores a cuatro desviaciones de la media. Los valores por fuera de los límites fueron marcados como sospechosos para revisión de su coherencia (Figura 10).

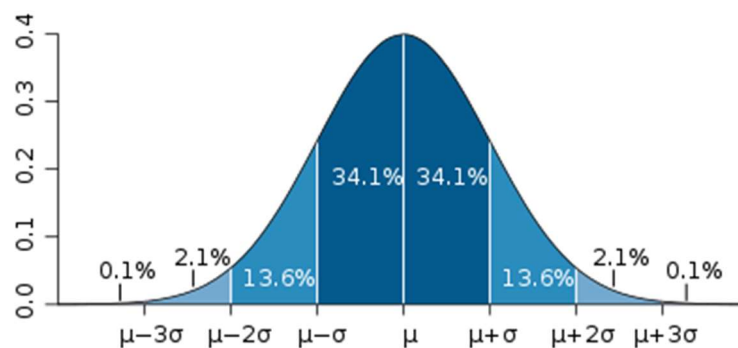


Figura 10. Control de calidad de datos mediante desviación estándar (Tomado de OMM, 2011).

Rango intercuartílico: Este filtro es menos sensible a la presencia de valores atípicos y permite identificar valores sospechosos en las series de datos. Las series de datos se ordenaron y se obtuvo

el valor mínimo, el máximo, los cuartiles (Q1, Q2 y Q3) y el rango intercuartílico (RIC) para identificar los valores atípicos o sospechosos (Figura 11).

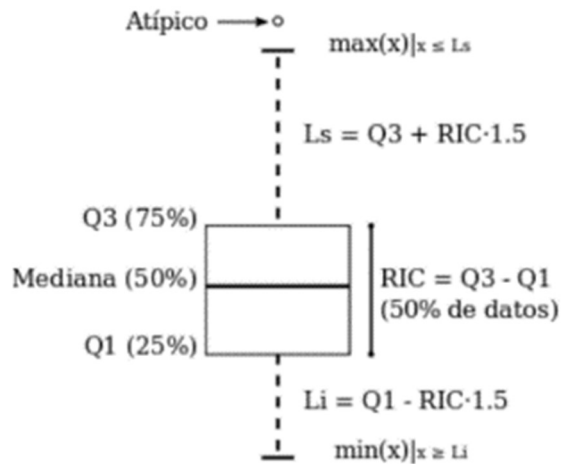


Figura 11. Control de calidad de datos mediante diagrama de caja. Registro $> \text{Cuartil}_3 + R \cdot \text{RIC}$ o Registro $< \text{Cuartil}_1 - R \cdot \text{RIC}$; $R = 3$ (umbral); RIC= rango intercuartílico; $\text{Cuartil}_3 - \text{Cuartil}_1$; Registro= valor de la serie (Tomado de OMM; 2011).

La ayuda gráfica usando cuartiles, permitió identificar y descartar valores por fuera de los rangos definidos (Figuras 12 y 13), siendo el extremo más bajo el acumulado al 25% (Q24) y el extremo más alto el acumulado al 75% (Q75).

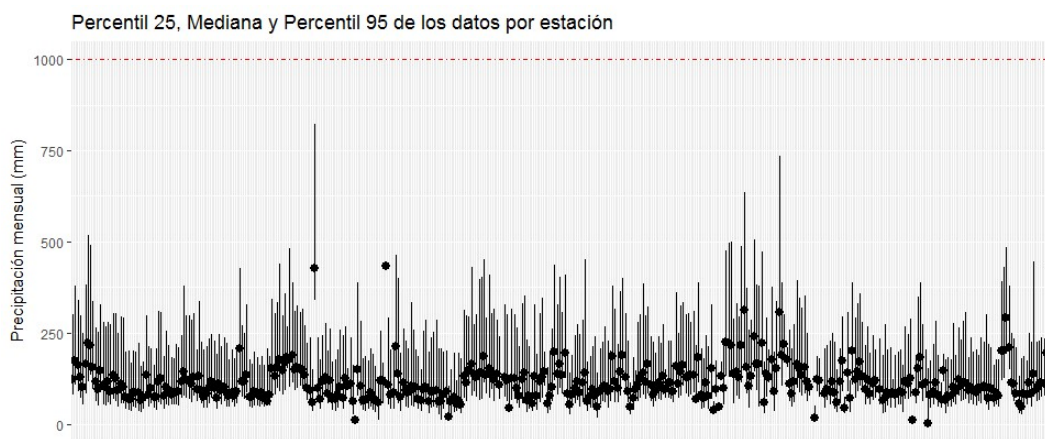


Figura 12. Ayuda gráfica para la identificación de valores atípicos de precipitación (rango intercuartílico).

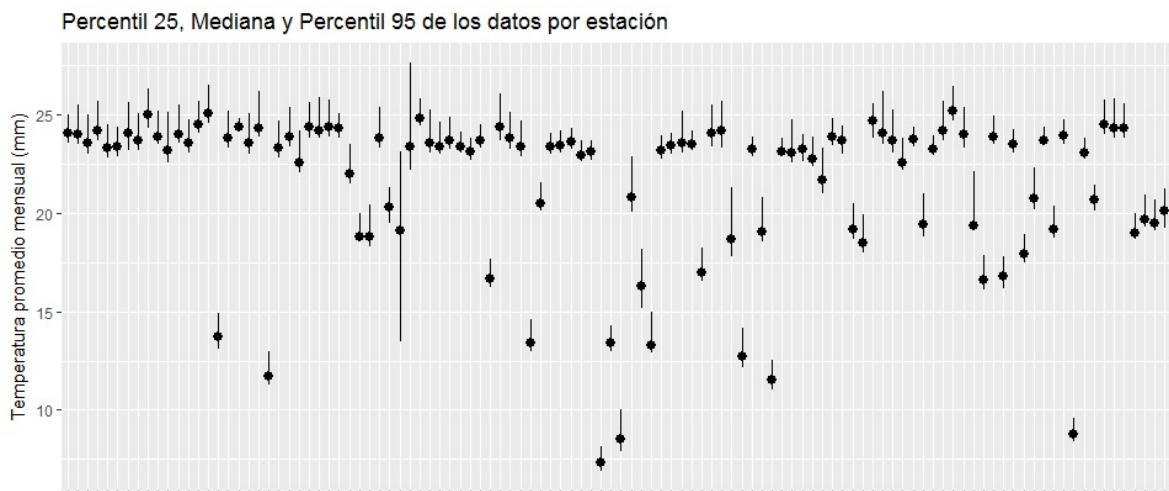


Figura 13. Ayuda gráfica para la identificación de valores atípicos de temperatura (rango intercuartílico).

Basados los análisis gráficos y el comportamiento de los datos, se observó que los filtros podían ser más estrictos, siendo aceptables precipitaciones mensuales de hasta 750mm y temperaturas entre 5° y 30° centígrados.

Consecutivos: Se definió cuando podría ser sospechosa una secuencia de valores iguales consecutivos. Teniendo en cuenta que se utilizaron escalas temporales mensuales, se consideraron desde dos valores en adelante como sospechosos.

Duplicados: Se verificó que el registro de un mes del mismo año estuviera una sola vez. Se marcaron como sospechosos aquellos registros que no cumplían con esta regla lógica.

Diferencia intermensual: Se marcaron registros sospechosos cuando la diferencia entre un mes x_t y su vecino x_{t+1} superaba cierto valor. Se usó el vector de diferencias mensuales y sobre éste, se calculó el rango intercuartílico y se detectaron en intervalos anuales, aquellos valores raros (tal y como se enunció anteriormente).

En la siguiente Tabla se presenta un resumen de total de los registros analizados de acuerdo a los controles de calidad empleados.

Tabla 7. Consolidado del análisis de control de calidad de datos climáticos estudio.

Control de Calidad	Precipitación	Temperatura
Total de registros analizados	122.388	26.784
Filtro Grueso	0,0008%	0,01%
Fechas duplicadas	0,00%	0,00%
Atípicos desviaciones estándar	0,12%	0,36%
Atípicos rango intercuartílico	0,30%	0,35%
Consecutivos	0,72%	6,91%
Diferencias Intermensuales	0,39%	0,56%
Total Faltantes	32,76%	52,48%

6.3.2 Llenado datos faltantes

El control de calidad permitió identificar falencias en los registros climáticos, lo cual se tradujo en vacíos de información. Por ello fue necesario completar las series de datos para poder realizar luego el procesamiento estadístico sin inconvenientes. El llenado de datos se hizo para cada variable climática y utilizando la metodología más adecuada al tipo de información.

Temperatura: Para esta variable se usó el paquete de R Climatol (Guijarro, 2014) que provee funciones para la homogenización de series. Esta herramienta, se basa en el uso de pruebas de homogeneidad en una serie de diferencias entre la estación de interés y una de referencia construida como un promedio ponderado entre las estaciones cercanas. Estas se seleccionan según su proximidad, lo cual es un parámetro manipulable, sin tener en cuenta la correlación, para así poder utilizar las estaciones más cercanas, incluso si su periodo de información fuese corto. Esto permitió aprovechar toda la información disponible, siendo una ventaja cuando se cuenta con poca información, como es el caso de la variable en cuestión.

Lo anterior implica que la región de estudio debe ser climáticamente homogénea o su variación ser suave en toda el área, de lo contrario conllevará a construir series de referencia equivocadas. En regiones muy diversas, el autor recomienda subdividirlas en zonas y procesarlas de manera

independiente. De manera general, el algoritmo ajusta un modelo de regresión lineal, tantas veces como inhomogeneidades² detecte en la estación de interés. Cada serie con un factor de corrección de la serie de referencia era una opción. Se usaron indicadores de calidad del ajuste, a saber: el porcentaje de datos originales conservados y el error cuadrático medio (MSE) del modelo ajustado.

Un factor de decisión que podía utilizarse era dejar la serie de menor error, pero esto podía conllevar a escoger la serie con el menor porcentaje de datos originales o la que era menos homogénea. El autor del algoritmo no propone un criterio de decisión para esta parte del ejercicio, por consiguiente, se tomaron las series con más datos originales, considerando su proceso previo de control de calidad. En la siguiente Tabla se presentan algunos ejemplos de series homogenizadas.

Tabla 8. *Muestra de series de temperatura homogenizadas.*

X	Y	Z	Código	Estación	PDO	IOS	SNHT	MSE	IFS
-76.534	3.378	985	X26055070-2	UNIV DEL VALLE-2	77	2	14.4	0.28	56
-76.534	3.378	985	X26055070	UNIV DEL VALLE-1	6	2	9.4	0.25	2
-75.888	4.033	2902	X26105140-2	BARRAGAN-2	74	8	9.6	0.49	47
-75.888	4.033	2902	X26105140	BARRAGAN-1	6	8	6.6	0.36	8
-75.832	4.185	1692	X26125130	CUMBARCO-1	52	14	7.4	0.48	14
-75.832	4.185	1692	X26125130-3	CUMBARCO-3	18	14	3	0.39	61
-75.832	4.185	1692	X26125130-2	CUMBARCO-2	8	14	4.6	0.43	31
-75.917	4.519	1233	X2614900201	MIRAVALLS-1	45	19	9.1	0.45	19
-75.917	4.519	1233	X2614900201-3	MIRAVALLS-3	18	19	6.7	0.41	43
-75.917	4.519	1233	X2614900201-2	MIRAVALLS-2	13	19	10.2	0.87	36
-76.535	3.567	1500	X2622600201	LA BUITRERA-1	50	22	9.4	0.31	22
-76.535	3.567	1500	X2622600201-2	LA BUITRERA-2	25	22	14.2	0.35	35
-76.535	3.567	1500	X2622600201-3	LA BUITRERA-3	7	22	13	0.51	53

POD: Porcentaje de datos originales; IOS: Posición original de la serie en el archivo de salida (se refiere a un identificador de orden. estación 1, estación 2, estación 3, ...); SNHT: Valor de estadístico de la prueba de homogeneidad; MSE: Error cuadrático medio; IFS: Posición final de la serie en el archivo de salida.

² Cambios de comportamiento de datos según prueba SNHT o de Homogeneidad de Varianza (Alexandersson, 1986).

En el caso de la estación CUMBARCO, donde se probaron tres series homogenizadas, la de menor MSE (CUMBARCO-3) no era la de mayor porcentaje de datos originales (18%). La serie LA BUITRERA-1 coincidentemente presentó la mayor cantidad de información original, el menor error y la serie más homogénea. En la Figura 14 se observa como la serie LA BUITRERA-3, es la más alejada de los datos reales. Esto demuestra que deben utilizarse varios criterios para la seleccionar la mejor serie con llenado de datos.

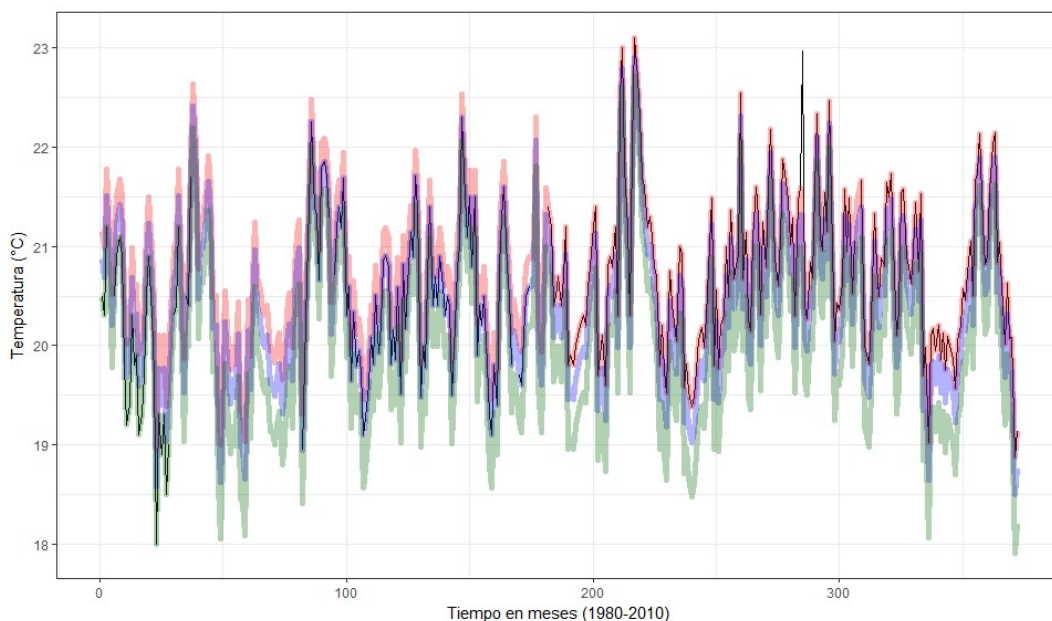


Figura 14. Comportamiento de la homogenización de datos de Temperatura en la Estación Buitrera. Datos Originales en color negro; serie Buitrera-1 estimada en color rojo; serie Buitrera-2 en color azul, y serie Buitrera-3 estimada en color verde.

Precipitación: Para esta variable se usó la herramienta CHIRPS (Funk *et. al.*, 2015), que es una base de datos abierta al público, construida a base de imágenes satelitales y datos de estaciones in situ, con información desde 1981 hasta la fecha, con una resolución de ~5km y con escala temporal diaria, decadal y mensual. Validaciones hechas en el país por Urrea, Ochoa y Mesa (2016)

utilizando datos del IDEAM, demostraron que la herramienta era adecuada utilizarla a escala mensual.

En la Figura 15 se muestra un ejemplo de los datos una estación frente a los obtenidos por CHIRPS. Se desplegaron los registros de la totalidad de la serie; en rojo se muestran los datos de la estación original frente a los datos satelitales en negro de CHIRPS.

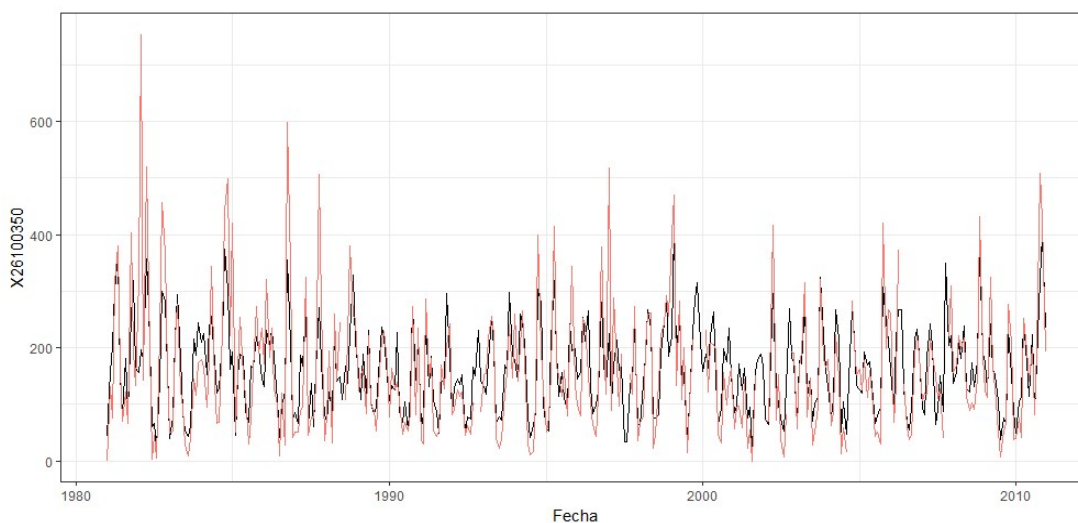


Figura 15. Comparativo de datos de precipitación de Estación 26100350 versus valores estimados por CHIRPS (periodo 1980-2010).

En la Figura 16 se aprecia como la distribución anual de las lluvias es muy similar en ambas fuentes, siendo mayor la variabilidad de los registros en la estación física, especialmente notable en el mes de octubre.

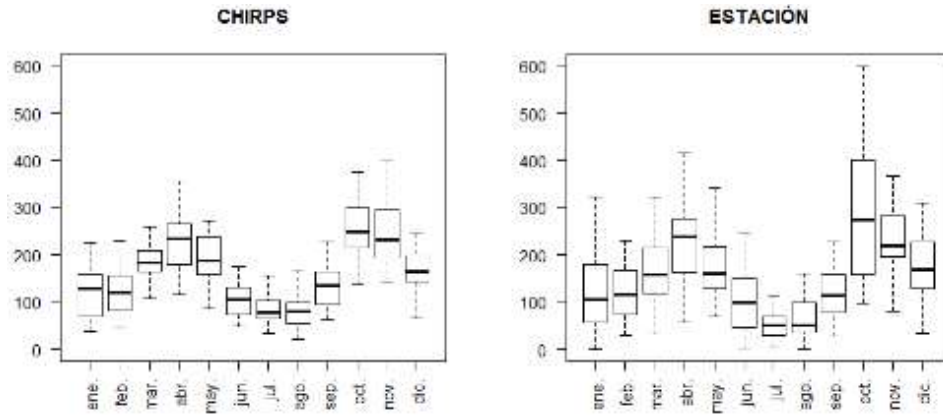


Figura 16. Comparativa datos precipitación mensual multianual Estación 26100350 vs estimados por CHIRPS.

Un modelo lineal simple entre ambas series, se utilizó para conocer el grado de ajuste entre las fuentes:

$$y_i = x_i\beta + e$$

En donde y_i son los registros mensuales de la estación en tierra, x_i los registros de CHIRPS, β es el parámetro a estimar y e es el vector de errores aleatorios no explicados. Del anterior modelo se obtiene un coeficiente de determinación ajustado o $R^2_{ajustado} = 0.6852$, que da un muy buen porcentaje de explicación de la varianza. El coeficiente da una idea de la relación entre las variables involucradas; se mueve entre 0 y 1, en donde un valor de 1 indicaría una relación perfecta. El ajuste es fue teniendo en cuenta la resolución espacial de $\sim 5 \text{ km}^2$.

Se calcularon todos los coeficientes de determinación entre las series y las extracciones de CHIRPS (Figura 17). De las 198 relaciones, el 75% arrojó ajustes por encima de 0,6. Sólo 10 estaciones obtuvieron relaciones por debajo de 0,5; de estas, cuatro (las de menor ajuste) presentaron inconsistencias tales como diferente distribución mensual multianual de lluvias o una variabilidad notoriamente diferente de lo analizado en datos satelitales.

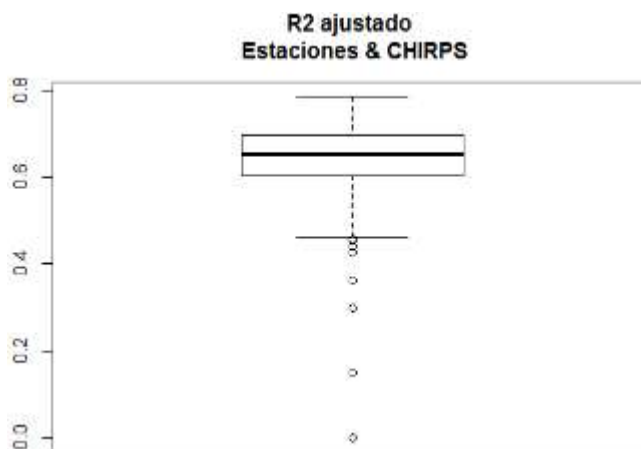


Figura 17. Comparativa de los coeficientes de determinación ajustado de estaciones y CHIRPS.

Las cuatro series con problemas detectadas en esta etapa se descartaron. En la Figura 18 se evidencian sus falencias.

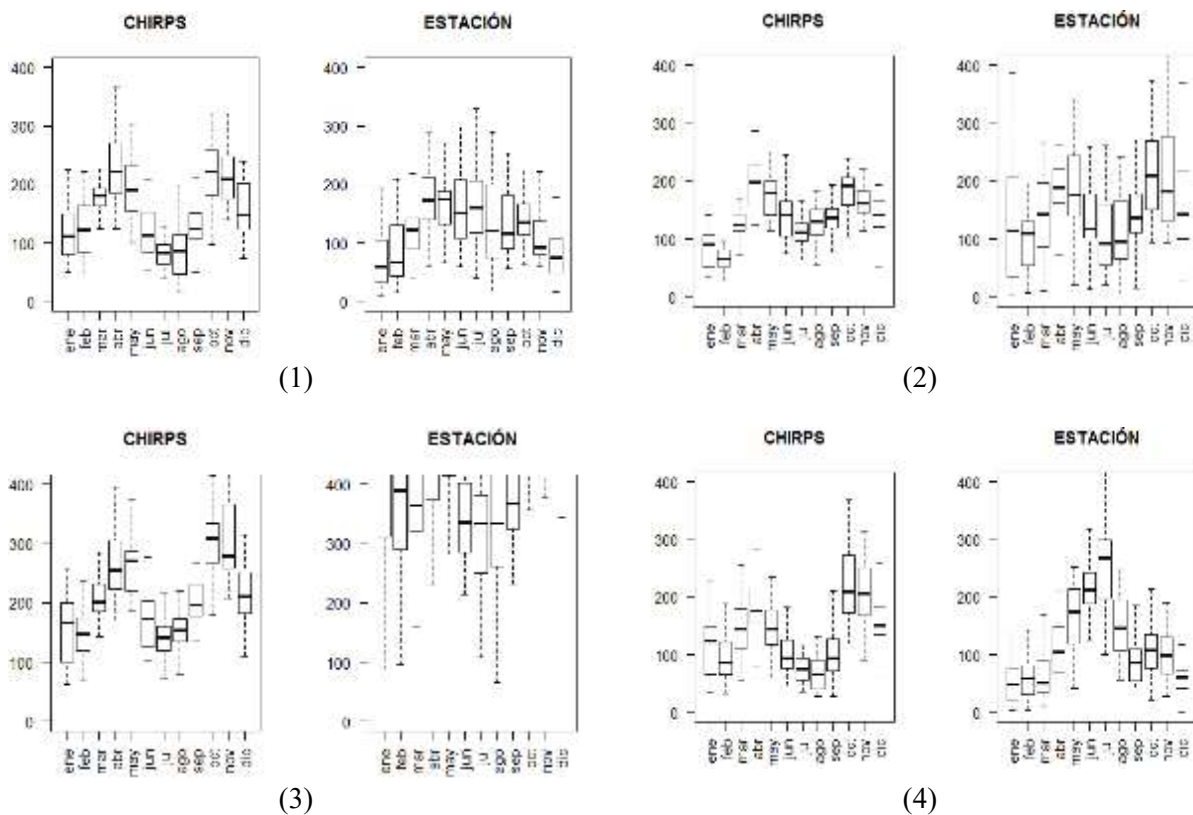


Figura 18. Series de precipitación descartadas. (1) Diferencia en distribución mensual; (2) Diferencia en variabilidad; (3) Diferencia en cantidad y variabilidad; (4) Diferencia en distribución mensual.

Finalmente, el modelo lineal simple antes expuesto se utilizó para el proceso de llenado de datos faltantes, teniendo como variable respuesta los datos de las estaciones físicas, usando entonces como variable dependiente los registros de la información satelital. El modelo permitió obtener una serie totalmente estimada, pero sólo se tuvieron en cuenta los registros que le faltaban a cada serie original, es decir, que se conservó toda la información que había pasado el control de calidad.

A manera de ejemplo, se exponen dos de las series que tenían más datos por completar (casi el 30% de faltantes) del conjunto de series trabajadas (Figura 19). Se aprecia una continuidad sin alteraciones en los espacios donde inicialmente no había información.

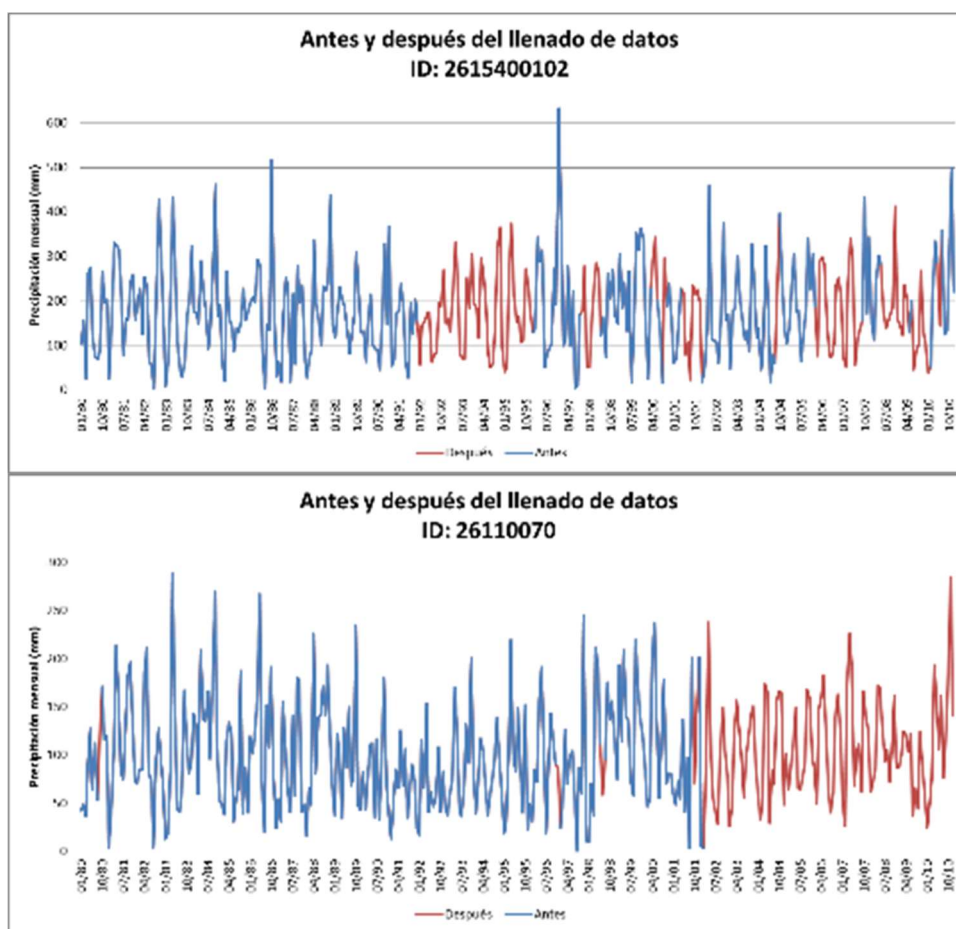


Figura 19. Ejemplos de series de precipitación con llenado de datos mediante la herramienta CHIRPS.

Reducción de pluviómetros: Una vez se tuvieron las series de precipitación completas (sin datos faltantes), se procedió a detectar información duplicada en las series. Es decir, estaciones con diferente código y registros casi idénticos. Lo anterior, debido a que hay ocasiones en que al instalar una nueva estación de la CVC se toma como referencia una del IDEAM, y viceversa. Esto se hace en algunos casos con el propósito de comparar registros. El proceso de depuración conllevó a que se dejarán 174 series de precipitación de las 198 analizadas hasta ese momento.

6.4 Generación de superficies climáticas

La elaboración de las superficies de las variables climáticas requirió del uso del Programa de estadística R con la interfaz R Studio y los paquetes dplyr, fields, ggplot2, gstat, sp, maptools, raster, rgdal y rgeos. También de ArcGIS 10.5, de los promedios anuales de precipitación y temperatura para cada estación en formato shape file (shp) y del Modelo Digital de Elevación (MDE) SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de 30 m (formato img). El uso del MDE de resolución más gruesa dificulta la obtención de buenos resultados al realizar la interpolación espacial de las variables climáticas (Rosentahl *et al.*, 1998; citado por Boer *et al.*, 2001).

6.4.1 Superficie de temperatura

Para la generación de la superficie temperatura se utilizó el modelo Regnie (Rauthe *et al.*, 2013), siglas originalmente en alemán que traducen Cantidad de Precipitación Regionalizada. Álzate *et al.* (2017) empleó el método para interpolar la precipitación y temperatura media de las regiones Andina, Caribe y Pacífica de Colombia, comprobando que la incorporación del MDE y sus derivadas (elevación, pendiente, exposición) en el modelo Regnie mejoraron la precisión y resolución espacial de las interpolaciones, principalmente de temperatura.

Según Álzate *et. al.* (2017), el modelo Regnie es una combinación entre un modelo de regresión lineal múltiple y el IDW. Utiliza básicamente datos de precipitación o temperatura de las estaciones meteorológicas con su respectiva ubicación geográfica (latitud y longitud) y datos fisiográficos de estas ubicaciones como la elevación, la pendiente y la exposición del terreno, para calcular cocientes con una regresión lineal múltiple (RLM), que son multiplicados por los coeficientes de la regresión para obtener espacialmente la variable climática en una región deseada.

Se ensayaron diferentes combinaciones de las variables del modelo Regnie (Rauthe *et al.*, 2013) para determinar la de mejor ajuste de datos. La Ecuación 1 incluyó todas las variables disponibles, la Ecuación 2 las coordenadas y la altitud, y la Ecuación 3 solo la altitud.

Ecuación 1:

$$T = -11.794568586 + 0.100329332 * Latitud - 0.531404172 * Longitud - 0.005401315 * Altitud + 0.001016951 * Exposición - 0.037010506 * Pendiente$$

Ecuación 2:

$$T = 25.314969588 - 0.247244943 * Latitud - 0.068006691 * Longitud - 0.005839295 * Altitud$$

Ecuación 3:

$$T = 29.569891334 - 0.005856594 * Altitud$$

La evaluación de la calidad de los modelos de superficie de temperatura obtenidos para cada una de las ecuaciones se analizó mediante el Coeficiente de Determinación (R²), Error Cuadrático Medio (MSE), Validación Cruzada (CV) y el Criterio de Información de Akaike (AIC), Éste último es una herramienta objetiva que permite cuantificar la idoneidad de un modelo particular en relación a un conjunto finito de modelos, proporcionando un método simple y objetivo de

selección del modelo más adecuado para caracterizar los datos experimentales (Martínez, 2009); se define como:

$$AIC = -2 \log(L(b_{_})) + 2K \quad (1)$$

donde $\log(L(b_{_}))$ es el logaritmo de la máxima verosimilitud, que permite determinar los valores de los parámetros libres de un modelo estadístico, y K es el número de parámetros libres del modelo. Esta expresión proporciona una estimación de la distancia entre el modelo y el mecanismo que realmente genera los datos observados, que es desconocido y en algunos casos imposible de caracterizar.

Como la estimación se hace en función de los datos experimentales, esta distancia es siempre relativa y dependiente del conjunto de datos experimentales. Por tanto, un valor individual de AIC no es interpretable por sí solo, y los valores AIC sólo tienen sentido cuando se realizan comparaciones utilizando los mismos datos experimentales. El criterio formula el problema de selección de modelos como una búsqueda del modelo que presente un menor valor AIC, entre un conjunto de modelos candidatos. En cierto modo, no se busca el modelo que mejor ajusta sino el modelo que menos información pierde de todos los modelos considerados (Martínez, 2009).

6.4.2 Superficie de precipitación

Para la generación de la superficie de precipitación se probaron los métodos de interpolación Natural Neighbor (Sibson, 1980), Inverse Distance Weighting (IDW) (Philip & Watson, 1982) y Kriging (Krig, 1951). La selección del método más adecuado se hizo mediante la técnica de Validación Cruzada, que consiste en tomar los datos de una muestra entre el total de estaciones y realizar las interpolaciones sin las estaciones de la muestra; los valores obtenidos se comparan con

los valores reales de cada estación y se calculan los Errores Cuadráticos Medios (Ecuación 4), apoyado en el Estimado de Efectividad de Predicción (Ecuación 5).

Ecuación 4:

$$EMC = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - \hat{z}(x_i)]^2$$

donde $z(x_i)$ es el valor observado en el punto “i”, $\hat{z}(x_i)$ es el valor estimado en el punto “i” y n es el número de puntos de la muestra.

Ecuación 5:

$$E = (1 - \{\sum_{i=1}^n [z(x_i) - \bar{z}]^2 / \sum_{i=1}^n [z(x_i) - \bar{z}]^2\}) 100$$

donde $\bar{z}$ es el promedio de la muestra. Cuando los valores se aproximan al 100% se considera una predicción muy buena.

6.4.3 Generación de zonificaciones climáticas

A partir de las superficies de precipitación y temperatura, se procedió a elaborar las zonificaciones clasificaciones climáticas de Caldas-Lang y Holdridge, aplicando los parámetros descritos en el capítulo previo.

6.5 Zonificación clima edáfico

La zonificación del clima edáfico es producto de los estudios semidetallados de suelos a escala 1:25.000 realizados por el IGAC (2004), IGAC-CENICAÑA (2005) e IGAC-CVC (2016). Estos trabajos analizaron los regímenes de temperatura y humedad asociados a los procesos de formación de las diferentes unidades de suelos, las cuales se encuentran debidamente espacializadas.

Como se describió en el capítulo anterior, la clasificación taxonómica de los suelos se fundamenta en el conocimiento de los factores que intervinieron en su formación. Dicho proceso incluyó observaciones de campo mediante 845 calicatas para el levantamiento de perfiles modales

de suelos y de 6.012 barrenados y cajuelas para mejorar la interpretación y delimitación de las unidades cartográficas de suelos.

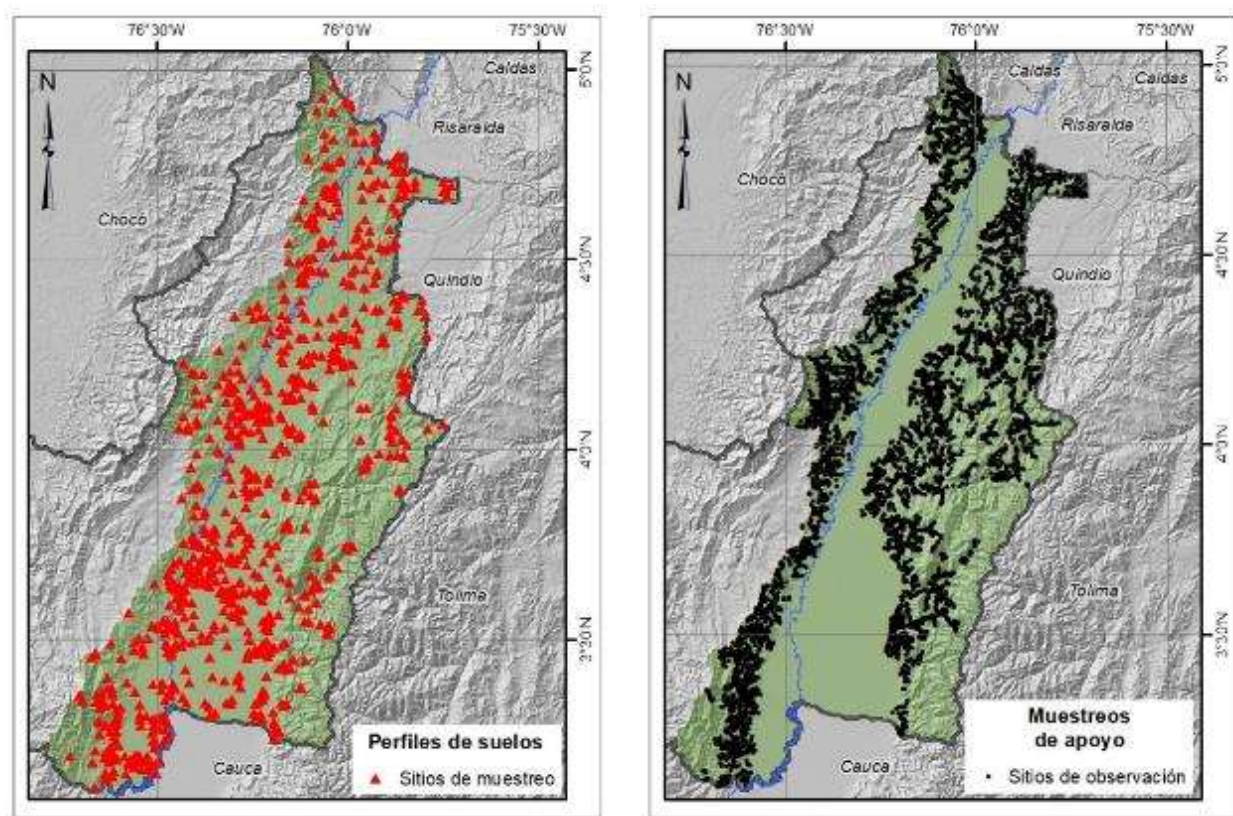


Figura 20. Observaciones de campo del estudio semidetallado de suelos en la zona de estudio. Izquierda: Calicatas. Derecha: Barrenados y cajuelas.

6.6 Análisis comparativo de zonificaciones

6.6.1 Caldas-Lang versus Holdridge

Inicialmente se compararon aspectos generales de las zonificaciones como: número de unidades climáticas obtenidas, distribución en área y porcentaje de las unidades climáticas, pisos térmicos y provincias de humedad. Luego, se hizo la comparación estadística mediante el Criterio de Información de Akaike (An Information Criterion, AIC) descrito por Martínez (2009) y expuesto en el numeral 6.4.1 del presente documento. El AIC ha sido utilizado ampliamente en el campo de

la biología y la econometría, como una herramienta objetiva que permite cuantificar la idoneidad de un modelo particular en relación a un conjunto finito de modelos, proporcionando un método simple y objetivo de selección del modelo más adecuado para caracterizar los datos experimentales (Martínez, 2009).

Dado que las unidades climáticas de las clasificaciones de Holdridge y Caldas-Lang básicamente están definidas por la precipitación y la temperatura, y que, a su vez estas dos variables se encuentran correlacionadas en las provincias de humedad, es posible utilizar este último parámetro para simplificar la comparación (Tabla 10). Para ello, se tomaron los valores de 384 puntos por zonificación climática, cubriendo todos los pisos térmicos y provincias de humedad. En el AIC la variable respuesta sería cada unidad climática obtenida en las zonificaciones, y las variables explicativas, los indicadores de cada clasificación, lo cual en Caldas-Lang corresponde al promedio anual de precipitación (PPA) sobre la temperatura media ($T^{\circ}\text{C}$) y en Holdridge a la evapotranspiración potencial promedio (ETPP)³ sobre el promedio anual de precipitación (PPA).

6.6.2 Zonificaciones climáticas versus zonificación del clima edáfico

La comparación de las zonificaciones se realizó de acuerdo al esquema metodológico ilustrado en la Figura 21. Para poder realizar la comparación de las zonificaciones a nivel de unidades climáticas fue necesario establecer equivalencias entre ellas. De esa manera, se homologaron las categorías de pisos térmicos (Tabla 9) y de provincias de humedad (Tabla 10), y de la combinación entre estas, las unidades climáticas (Tabla 11).

³ $\text{ETPP} = T^{\circ}\text{C} * 58,93$

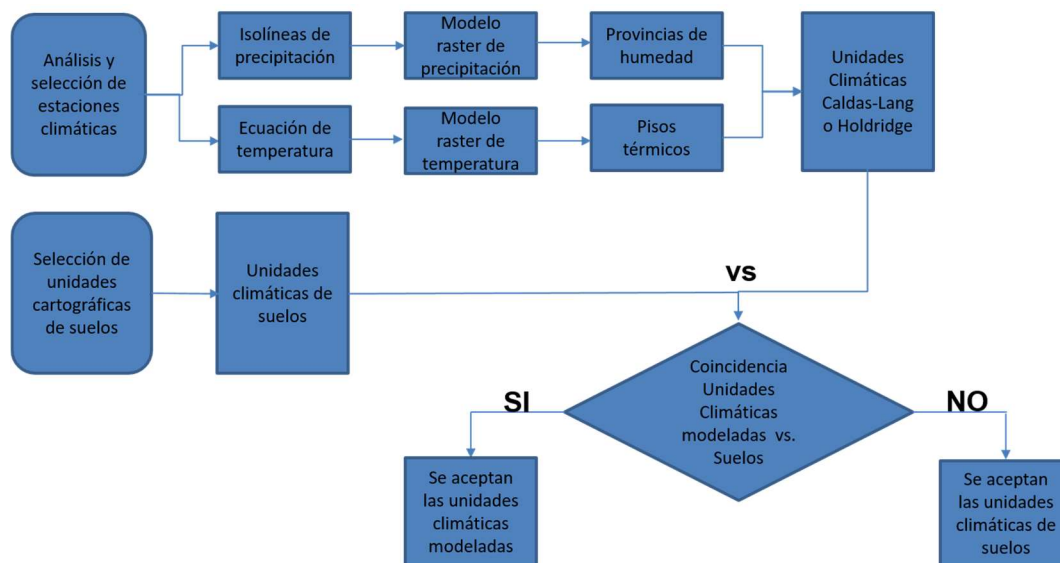


Figura 21. Modelo de análisis comparativo de las zonificaciones climáticas.

Tabla 9. Homologación de los pisos térmicos de las clasificaciones climáticas.

Caldas – Lang	Pisos Térmicos por Clasificación		Nomenclatura Homologada	Código Homologado
	Holdridge	Clima Edáfico		
Cálido (C)	Tropical –T	Cálido (C)	Cálido	C
Templado (T)	Premontano -PM	Templado (T)	Templado	T
Frío (F)	Montano bajo – MB	Frío (F)	Frío	F
Páramo bajo (Pb)	Montano – M	Muy frío (MF)	Muy frío	MF
Páramo alto (Pa)	Subalpino – SA	Extremadamente frío (EF)	Páramo bajo	PB
Páramo alto (Pa)	Alpino - A	Extremadamente frío (EF)	Páramo alto	PA

Tabla 10. Homologación de las provincias de humedad de las clasificaciones climáticas.

Caldas – Lang	Provincias Humedad por Clasificación		Nomenclatura Homologada	Código Homologado
	Holdridge	Clima Edáfico		
Árido (A)	Semiárido (SA)	Muy seco (ms)	Muy seco	ms
Semiárido (sa)	Subhúmedo (s)	Seco (s)	Seco	s
Semihúmedo (sh)	Húmedo (h)	Húmedo (H)	Húmedo	H
Húmedo (H)	Muy húmedo (mh)	Muy húmedo (MH)	Muy húmedo	MH
Superhúmedo (SH)	Pluvial (p)	Pluvial (p)	Pluvial	P

Tabla 11. *Unidades climáticas resultantes para el proceso de comparación*

Unidad Climática	Código
Cálido muy seco	Cms
Cálido seco	Cs
Cálido húmedo	CH
Cálido muy húmedo	CMH
Templado seco	Ts
Templado húmedo	TH
Templado muy húmedo	TMH
Templado pluvial	TP
Frío seco	Fs
Frío húmedo	FH
Frío muy húmedo	FMH
Frío pluvial	FP
Páramo bajo húmedo	PBH
Páramo bajo muy húmedo	PBMH
Páramo bajo pluvial	PBP
Paramo alto pluvial	PAP

La comparación estadística de las zonificaciones se hizo mediante el Test de Friedman y la Prueba de Wilcoxon. El Test de Friedman es una prueba para datos categóricos ordinales y es una extensión de la prueba de rangos con signo de Wilcoxon, siendo el adecuado para datos pareados con un orden natural. Dado que es posible que la prueba indique que al menos uno de las zonificaciones difiere en su forma de clasificar, se aplica directamente la prueba de Wilcoxon para determinar por pares, cuáles realmente se pueden considerar semejantes y cuáles dispares (Gregory y Foreman, 2014).

El Test de Wilcoxon es una prueba no paramétrica que no requiere del cumplimiento de supuestos de normalidad y trabaja sobre las diferencias no nulas entre parejas de observaciones, analizando dichas diferencias en signo y magnitud; la hipótesis nula del test es que las muestras provienen de poblaciones con igual distribución de probabilidad, mientras que la hipótesis

alternativa instituye que hay diferencias con relación a la tendencia central de las poblaciones pudiendo estas ser direccionales o no (Guisande, Vaamonde y Barreiro , 2013). De esta manera, se establece que el contraste se fundamenta en la conducta de las diferencias entre las puntuaciones de los elementos de cada par asociado, teniendo en cuenta además de la magnitud de la diferencia el signo de esta (Guisande, Vaamonde y Barreiro, 2013).

Se tiene el supuesto donde $d_i = x_i - y_i$ es la diferencia entre los valores de calificación de la pareja i-ésima; si alguna de estas diferencias es nula la pareja correspondiente se excluye del análisis, de forma que el tamaño de la muestra es n, el número de diferencias no nulas. Luego se establecen clases desde 1 a n atendiendo únicamente al valor absoluto de las d_i y se suman las clases correspondientes a las diferencias negativas y positivas independientemente. Si la hipótesis nula es cierta, X e Y tienen el mismo valor central y es de esperar que los rangos se distribuyan aleatoriamente entre las diferencias negativas y positivas, lo que generaría que ambas sumas de clases sean aproximadamente iguales. El estadístico de prueba, T, es la menor de las dos sumas de rangos. Cuando $n > 15$ la distribución muestral de T bajo el supuesto de que H_0 es cierta se aproxima a una normal de parámetros (Guisande , Vaamonde y Barreiro , 2013):

$$\mu_T = \frac{n(n+1)}{4} \quad \sigma_T^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{24}$$

El valor de Z es el estadístico de prueba:

$$Z = \frac{T - \mu_T}{\sigma_T}$$

que se distribuye según una normal tipificada.

La hipótesis nula será rechazada si Z pertenece a la región crítica localizada en las dos colas o en una cola de la normal tipificada, según la naturaleza de la hipótesis alternativa.

De acuerdo con lo descrito anteriormente, se generó una matriz con distancia de 2 km entre punto y punto cubriendo toda la zona de estudio (Figura 22). De esa manera, se tomó información de 2.675 puntos para realizar la comparación entre las zonificaciones.



Figura 22. Matriz de muestreo para la toma de información de unidades climáticas homologadas.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Datos Seleccionados

El proceso de tratamiento de datos climáticos mostró que no era aconsejable trabajar con información anterior al año 1970, dada la escasez de registros hasta ese momento. Es así como la mejor serie de datos continuos de 30 años identificada fue la de 1980 a 2010. El control de calidad de datos permitió seleccionar 174 estaciones meteorológicas para la variable precipitación y 23 para temperatura (Anexo 1).

Las estaciones con registros de precipitación presentaron promedios anuales que iban desde 713,3 hasta 4.015,9 mm y cubrieron rangos altitudinales entre los 900 y 3.985 msnm. El mayor número de estaciones se ubicó en el rango altitudinal de los 1.000 a 2.000 msnm (Tabla 12), estando un 55% de ellas entre los 900 y los 1.300 msnm (Figura 23). De acuerdo con la anterior información, se observa un buen cubrimiento del rango altitudinal de la zona de estudio. Por otra parte, las estaciones con registros de temperatura presentaron promedios que iban desde 12,5 hasta 24,6 °C y cubrieron rangos altitudinales entre los 920 y 2.902 msnm. El mayor número de estaciones se ubicó en el rango altitudinal de los 1.000 a 2.000 msnm (Tabla 12), estando un 61% de ellas entre los 920 y los 1.100 msnm (Figura 24).

Tabla 12. Distribución de las estaciones meteorológicas del estudio por rango altitudinal.

Rango Altitud msnm	Precipitación		Temperatura	
	No.	%	No.	%
0-1000	57	32,8%	10	43,5%
1000-2000	97	55,7%	11	47,8%
2000-2500	10	5,7%	2	8,7%
2500-3000	4	2,3%	0	0,0%
3000-3500	2	1,1%	0	0,0%
3500-4500	4	2,3%	0	0,0%
Total	174	100,0%	23	100,0%

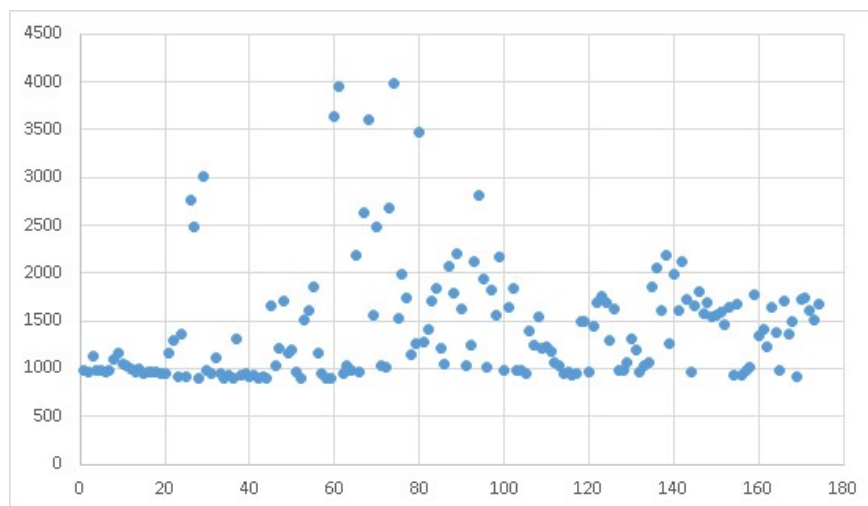


Figura 23. Distribución de las estaciones de precipitación de acuerdo a su altitud en la zona de estudio.

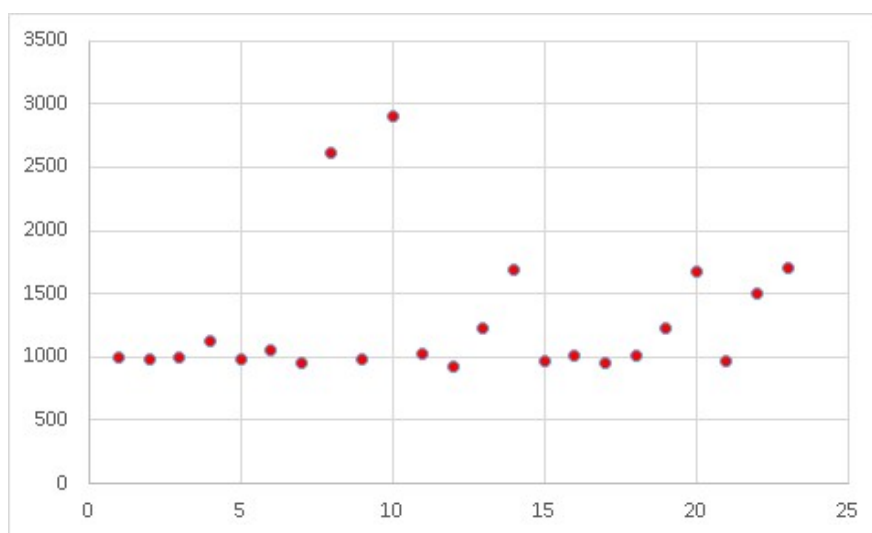


Figura 24. Distribución de las estaciones de temperatura de acuerdo a su altitud en la zona de estudio.

7.2 Superficies variables climáticas

7.2.1 Temperatura

Entre las diferentes combinaciones de las variables del modelo Regnie que se ensayaron, la Ecuación 1, que incluyó todas las variables disponibles, arrojó un intercepto negativo. Es decir, que cuando todas las variables estaban en cero la temperatura era negativa, siendo un resultado no

coherente. La Ecuación 2 que consideró las coordenadas y la altitud, y la Ecuación 3 la altitud, arrojaron interceptos positivos. En ambos casos la altitud tuvo una relación inversa con la temperatura en una proporción casi idéntica; sin embargo, la Ecuación 2 presentó una relación inversamente proporcional entre las coordenadas de la estación y el valor de la temperatura. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 13. *Resultados de las pruebas de regresión lineal múltiple de las ecuaciones de temperatura.*

Ecuación	Intercepto	Latitud	Longitud	Altitud	Aspecto	Pendiente
1	- 11,79	0,10	0,53	0,01	0,001	0,03
2	25,31	- 0,25	- 0,07	- 0,01		
3	29,60			- 0,01		

El resultado de la evaluación de la calidad de las Ecuaciones (Tabla 14) muestra que la Ecuación 1 tuvo los mejores indicadores, pero tuvo que descartarse por la incoherencia de los valores que arrojó. Por otra parte, la Ecuación 2 mostró ser la más adecuada para generar el modelo de superficie de temperatura, de acuerdo a los criterios utilizados; obtuvo valores muy bajos de MSE, el error que comete al estimar fue inferiores del 1% y las estimaciones estuvieron muy bien correlacionadas, presentando la mayoría de las veces coeficientes de determinación mayores a 0.98, es decir una relación muy fuerte.

Tabla 14. *Resultados de los criterios de calidad de las ecuaciones de temperatura.*

Ecuación	Criterio de Calidad		
	R2 Ajustado	MSE	AIC
1	0.979	0.214	372.1
2	0.974	0.261	422.3
3	0.973	0.277	435.2

La distribución de la superficie de temperatura obtenida varió desde los 25°C en la parte más baja de la zona de estudio (valle del río Cauca) hasta los 4°C en la zona más alta (cordilleras); hubo un predominio de temperaturas mayores a los 18°C (Figura 25).

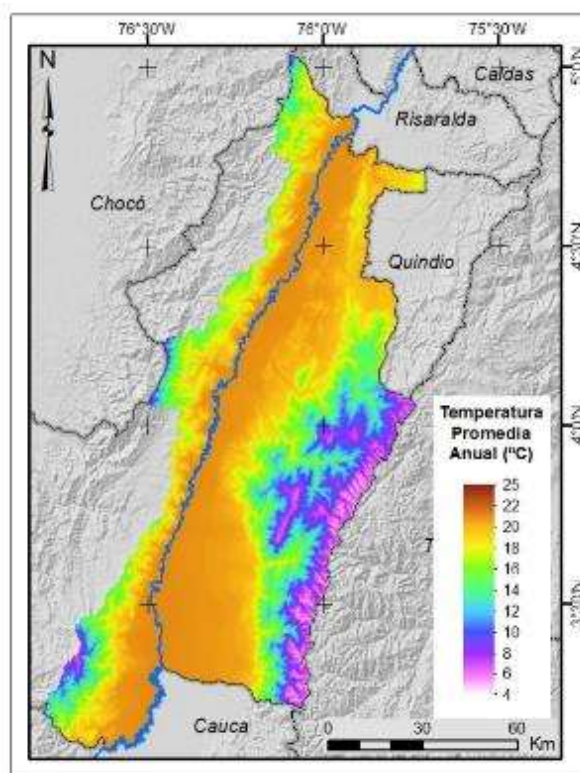


Figura 25. Distribución de la temperatura media anual en la zona de estudio.

7.2.2 Precipitación

Inicialmente se probaron las ecuaciones del modelo Regnie para la variable precipitación, que de acuerdo a Álzate *et al.* (2017), deben incluirse todas las variables disponibles como el autor Rauthe (2013) lo propone. Sin embargo, los resultados en cuanto al coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado) fue muy pobre (menos de 0,1) en varias de las combinaciones que se probaron. Los resultados obtenidos con el modelo Regnie no fueron los mejores para la

precipitación, por ello se optó por probar otros modelos para la generación de la superficie de la variable.

Entre los métodos de interpolación probados (Tabla 15), Natural Neighbor obtuvo los mejores valores en los parámetros de Error Cuadrático Medio (MSE) y del cálculo del Estimado de Efectividad de Predicción (E). La superficie resultante de la aplicación del método de interpolación seleccionado arrojó precipitaciones que oscilaron entre 714 y 4.012 mm anuales (Figura 26). Estos valores guardan coherencia con la información de los promedios anuales multianuales obtenidos de las estaciones meteorológicas consideradas para el presente estudio (mínimo de 713,3 mm y máxima de 4015,9 mm).

Tabla 15. *Resultados de los parámetros de calidad de los métodos de interpolación considerados para el modelo de superficie de precipitación.*

Método	MSE	E (%)
Natural Neighbor	88.111	58,8
IDW	100.378	52,2
Kriging	121.733	43,5

En coherencia con los resultados del presente trabajo, la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF, 1998) en la caracterización climática realizada en la zona de estudio mostró que las lluvias en el valle del río Cauca, en general, son inferiores a los 1.500 mm anuales, lo cual se debe posiblemente a la acción de "chimenea" que ejerce el fondo del valle, lo que hace que las nubes que logran pasar la cordillera Occidental se disipen por el calentamiento de aquel o sean empujadas por los vientos occidentales hacia el flanco occidental de la cordillera Central. Por su parte, la vertiente occidental de la Cordillera Central, tiene menores valores en las partes altas, explicable por su mayor altitud: entre 1.800 y 3.500 msnm, los promedios son ligeramente

superiores a 1.500 mm y, por encima de los 3.500 msnm las lluvias comienzan a disminuir hasta alrededor de 1.000 mm o menos, como en el páramo de Barragán.

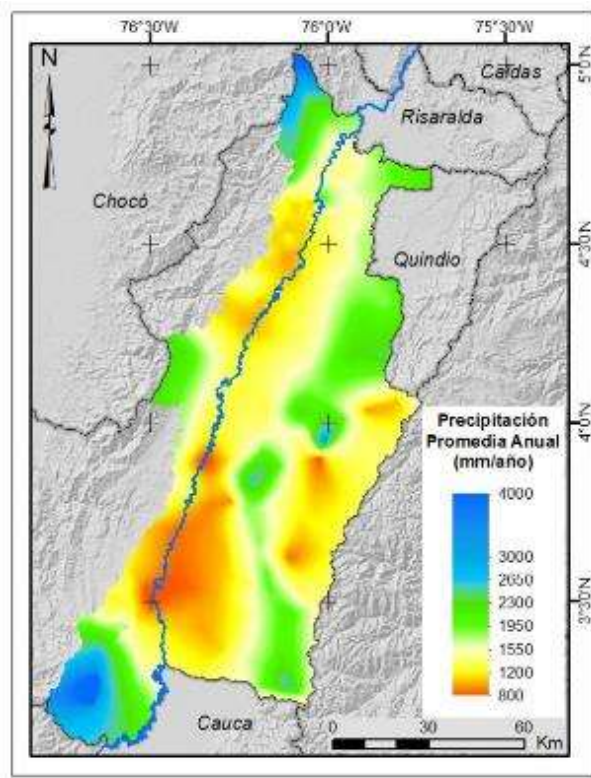


Figura 26. Distribución de la precipitación media anual en la zona de estudio.

7.3 Zonificaciones climáticas

La zonificación de Caldas-Lang generó 15 unidades climáticas; las más notables están alineadas de sur a norte, a lado y lado del cauce del río Cauca (Figura 27). Hubo predominio de las unidades climáticas Templado Semihúmedo con el 26,1% del área de estudio y Cálido Semiárido con un 19% (Tabla 16). La unidad climática Cálido Árido se dispuso en la zona de estudio a manera de enclave ocupando el 3,1% del área.

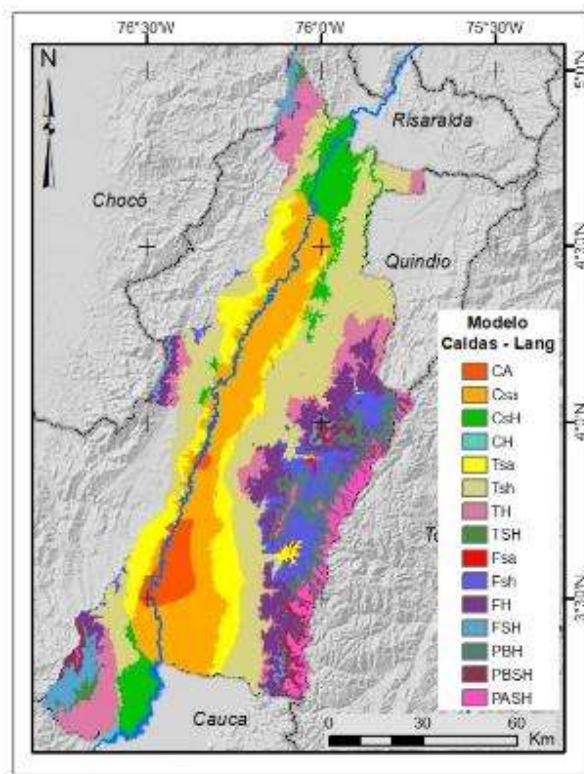


Figura 27. Zonificación climática de Caldas – Lang para la zona de estudio.

Tabla 16. Unidades climáticas de la zonificación Caldas – Lang en la zona de estudio.

Código	Unidad Climática	Area_Km ²	%
CA	Cálido, árido	331	3,1
Csa	Cálido, semiárido	2.035	19,0
Csh	Cálido, semihúmedo	735	6,8
CH	Cálido, húmedo	17	0,2
Tsa	Templado, semiárido	1.078	10,0
Tsh	Templado, semihúmedo	2.803	26,1
TH	Templado, húmedo	924	8,6
TSH	Templado, superhúmedo	57	0,5
Fsa	Frio, semiárido	13	0,1
Fsh	Frio, semihúmedo	541	5,0
FH	Frio, húmedo	818	7,6
FSH	Frio, superhúmedo	289	2,7
PBH	Páramo bajo, húmedo	503	4,7
PBSH	Páramo bajo, superhúmedo	273	2,5
PASH	Páramo alto, superhúmedo	321	3,0
Total		10.738	100

Por su parte, la zonificación de Holdridge generó 13 unidades climáticas, las cuales, en términos generales siguen una configuración espacial similar a las unidades obtenidas mediante la zonificación de Caldas-Lang (Figura 28). La unidad climática Premontano Húmedo mostró predominio, ocupando el 35,7% del área de estudio, seguida de la Premontano Seco con un 18,3% (Tabla 17). La unidad climática Montano Bajo Seco, que ocupó el 0,1% del área, se observa como un pequeño enclave.

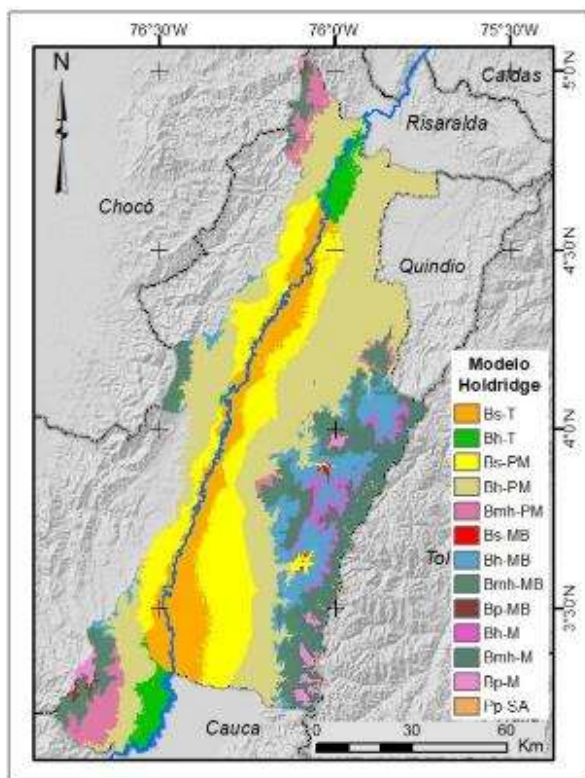


Figura 28. Zonificación climática de Holdridge para la zona de estudio.

Tabla 17. Unidades climáticas de la zonificación de Holdridge en la zona de estudio.

Código	Unidad Climática	Area_Km ²	%
Bs-T	Tropical, seco	1.323	12,3
Bh-T	Tropical, húmedo	388	3,6
Bs-PM	Premontano, seco	1.961	18,3
Bh-PM	Premontano, húmedo	3.835	35,7

Código	Unidad Climática	Area_Km ²	%
Bmh-PM	Premontano, muy húmedo	412	3,8
Bs – MB	Montano bajo, seco	11	0,1
Bh-MB	Montano bajo, húmedo	889	8,3
Bmh-MB	Montano bajo, muy húmedo	802	7,5
Bp-MB	Montano bajo, pluvial	27	0,3
Bh-M	Montano, húmedo	159	1,5
Bmh-M	Montano, muy húmedo	787	7,3
Bp-M	Montano, pluvial	127	1,2
Pp-SA	Páramo bajo, pluvial	15	0,1
Total		10.738	100,0

7.4 Zonificación del clima edáfico

La zonificación del clima edáfico obtenida de los estudios semidetallados de suelos elaborados en la zona de estudio, presentó 12 unidades climáticas (Figura 29). Estas mostraron una configuración espacial similar a las anteriores zonificaciones. La unidad climática más representativa fue Cálido Seco con el 31,4% del área de estudio, seguida de Templado Húmedo con 25,9%. (Tabla 18).

Tabla 18. *Unidades zonificación del clima edáfico estudio semidetallado de suelos la zona de estudio.*

Código	Unidad Climática	Area_Km ²	%
Cs	Cálido, seco	3.371	31,4
CH	Cálido, húmedo	402	3,7
Ts	Templado, seco	1,043	9.7
TH	Templado, húmedo	2,784	25.9
TMH	Templado, muy húmedo	295	2.7
Fs	Frío, seco	44	0.4
FH	Frío, húmedo	879	8.2
FMH	Frío, muy húmedo	593	5.5
FP	Frío, pluvial	73	0.7
MFMH	Muy frío, húmedo y muy húmedo	705	6.6
EFMH	Extremadamente frío, húmedo y muy húmedo	254	2.4
EFP	Extremadamente frío, pluvial	294	2.7
Total		10.738	100

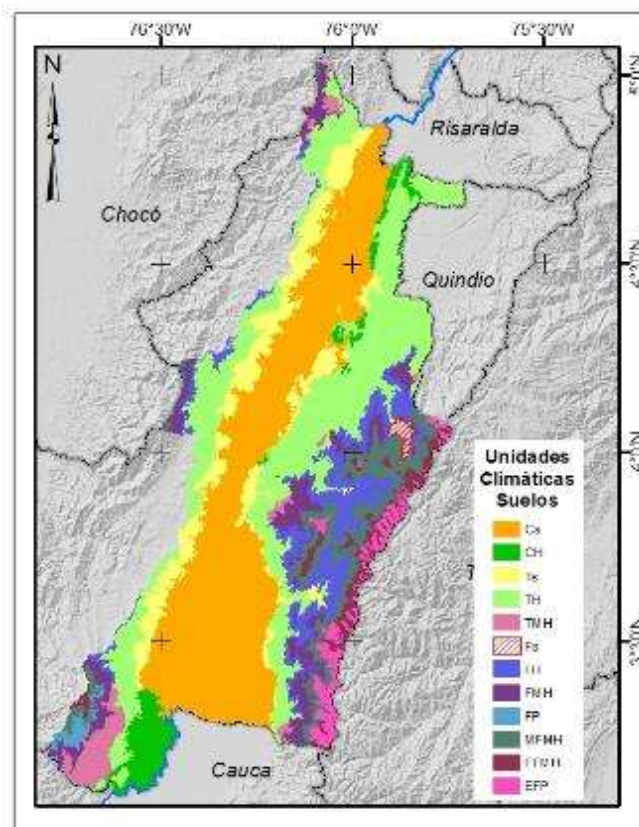


Figura 29. Zonificación del clima edáfico en la zona de estudio.

7.5 Comparación zonificaciones

7.5.1 Caldas-Lang versus Holdridge

En términos generales, la zonificación de Caldas-Lang arrojó dos unidades climáticas más que Holdridge; 15 la primera y 13 la segunda. No obstante, las dos zonificaciones presentaron igual número de pisos térmicos, cinco en cada caso (Tabla 19 y Figura 30). Los parámetros de zonificación de Caldas-Lang mostraron un mayor detalle de condiciones climáticas en el piso térmico Cálido y Templado que Holdridge; cuatro sobre dos para el primero y cuatro sobre tres para el segundo. Las dos zonificaciones coinciden en el piso térmico Frío con cuatro unidades climáticas, igualmente, en el piso térmico Páramo Alto con una categoría para las dos

zonificaciones. Holdridge tuvo tres unidades climáticas en Páramo Bajo sobre dos de Caldas-Lang (Figuras 30 y 31).

La unidad climática Cálido Seco de Caldas-Lang ocupa un área mucho más amplia que su equivalente de Holdridge. En contraste, la unidad climática Templado Húmedo de Holdridge ocupa un área mucho mayor que su equivalente de Caldas-Lang. La unidad Cálido Muy Seco de Caldas-Lang se encuentra a manera de enclave dentro de la unidad Cálido Seco, sobre la zona del Valle Geográfico del río Cauca. Las diferencias más significativas de las unidades climáticas se presentaron en la parte baja (valle geográfico) y en la parte alta (cordilleras).

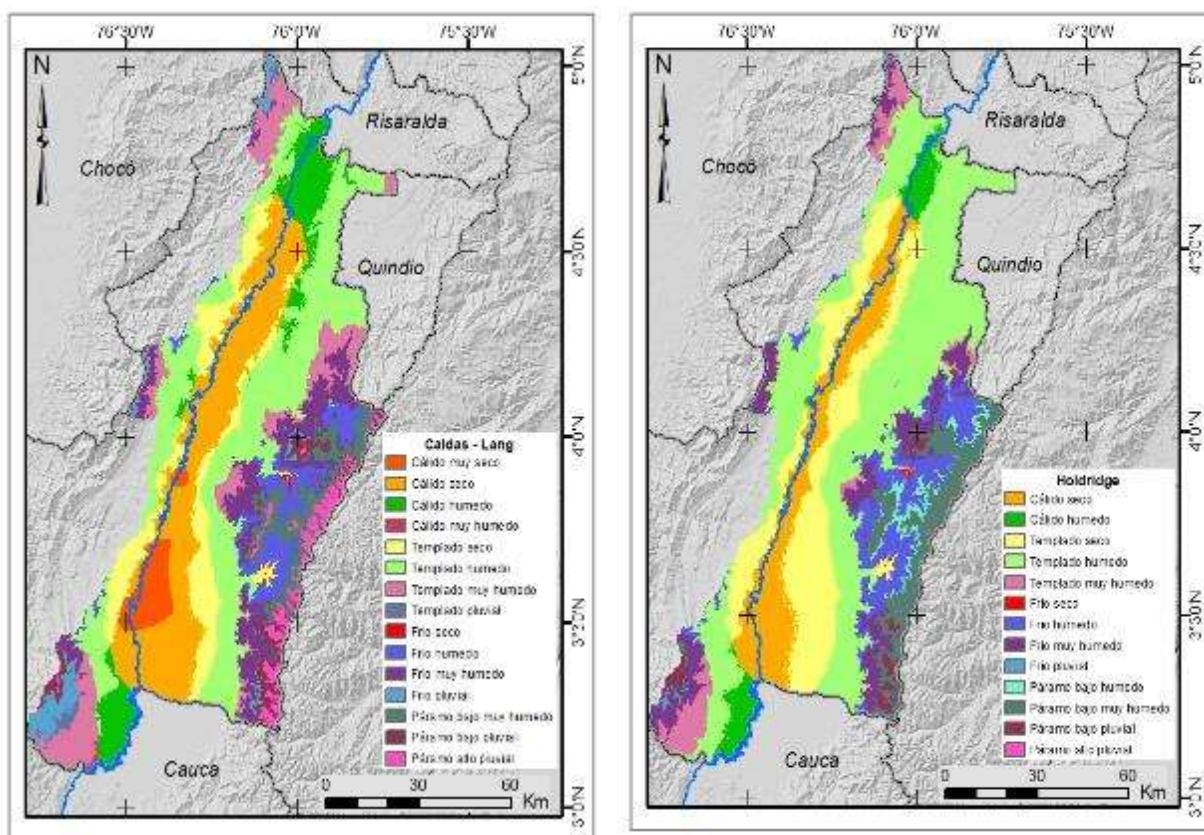


Figura 30. Unidades climáticas de las zonificaciones de Caldas-Lang y Holdridge.

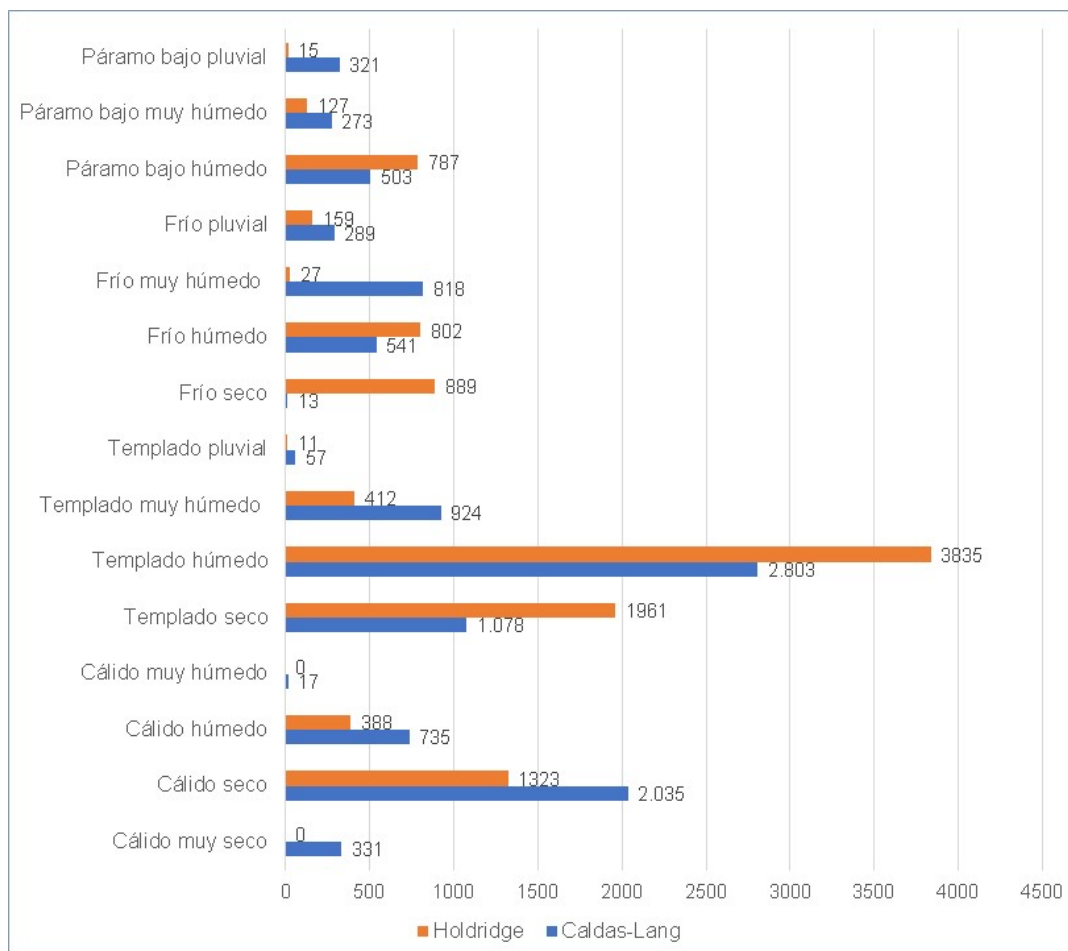


Figura 31. Comparación de las extensiones (km²) de las unidades climáticas de las zonificaciones de Caldas-Lang y Holdridge.

7.5.1.1 *Pisos térmicos*

A grandes rasgos, las dos zonificaciones muestran valores similares de áreas por piso térmico, especialmente en la categoría Frío y Páramo Bajo (Tabla 19 y Figura 32). El piso térmico Templado el más representativo de las dos zonificaciones; en Caldas-Lang corresponde al 45,2% del área de estudio y en Holdridge el 57,8%. Estos valores son similares a los del estudio climático hecho por el IDEAM (2005) para el departamento del Valle del Cauca, que presentó el piso térmico Templado con un 50% del territorio.

Los porcentajes del piso térmico Frío de las dos zonificaciones también son similares a los presentados por la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF, 1998) que referencia dicho piso térmico con un 14% del área.

Tabla 19. *Distribución en número y porcentaje de las unidades climáticas por pisos térmicos.*

Piso térmico	% de Área		No. Unidades Climáticas	
	Caldas-Lang	Holdridge	Caldas-Lang	Holdridge
Cálido	29,1	15,9	4	2
Templado	45,2	57,8	4	3
Frío	15,4	16,2	4	4
Paramo bajo	7,2	10,0	2	3
Páramo alto	3,0	0,1	1	1
Total	100	100	15	13

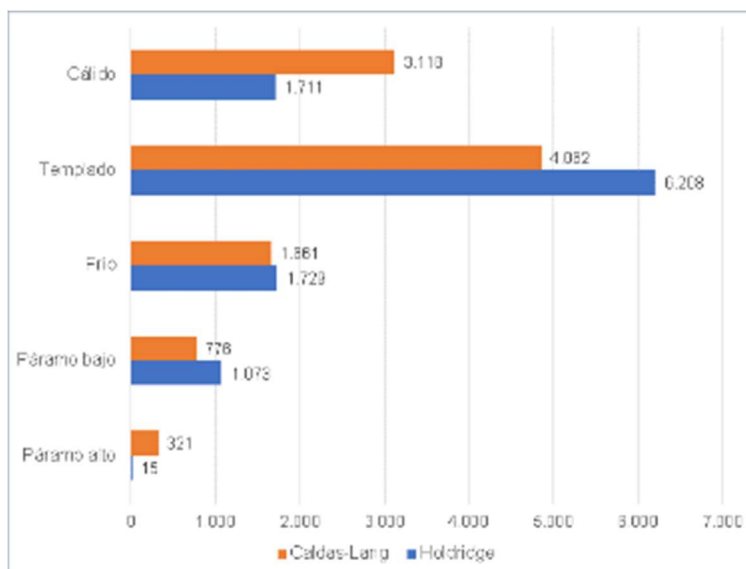


Figura 32. Distribución de áreas (km²) por piso térmico en las zonificaciones de Caldas-Lang y Holdridge.

Según CONIF (1998) el piso térmico Cálido cubre la zona plana del valle del río Cauca, en donde se registran las mayores temperaturas hacia la zona norte, como en el caso de los municipios de La Victoria y Ansermanuevo, por su baja altitud. El piso térmico Templado comprende las

vertientes medias cordilleranas, donde el cinturón cafetero es representativo. La mayor proporción de tierras ubicadas en este piso térmico se hallan en la vertiente oriental de la Cordillera Occidental y en el flanco occidental de la Cordillera Central. Los pisos térmicos Frío y Páramo se encuentran principalmente en la vertiente occidental de la Cordillera Central.

Castro, Agualimpia y Sánchez (2016) mencionan que la delimitación de pisos térmicos en la zona montañosa colombiana basada en las diferencias altitudinales es insuficiente en estudios semidetallados debido a que las vertientes de estas zonas presentan gradientes de temperatura relacionados con el tiempo de exposición de las laderas al sol o por influencia de los vientos en la distribución de la humedad.

7.5.1.2 *Provincias de humedad*

Se puede observar de forma general que existe similitud entre las distribuciones espaciales de las provincias de humedad de las dos zonificaciones climáticas, principalmente en las categorías Húmedo y Seco (Figura 32 y 33).

Tabla 20. *Distribución en área y porcentaje de las provincias de humedad por zonificación climática.*

Provincia de humedad	Caldas – Lang		Holdridge	
	Área_Km2	%	Área_Km2	%
Muy seco	331,3	3,1	0,0	0,0
Seco	3.126,7	29,1	3.296,0	30,7
Húmedo	4.095,0	38,1	5.270,7	49,1
Muy húmedo	2.244,7	20,9	2.001,8	18,6
Pluvial	940,5	8,8	169,5	1,6
Total	10.738,0	100,0	10.738,0	100,0

Caldas-Lang representó cinco provincias de humedad y Holdridge cuatro (Tabla 20). Holdridge no representó la provincia de humedad Muy Seco y la de mayor representatividad de esta zonificación fue Húmedo, con casi la mitad del área de estudio (49,1%). En Caldas-Lang la

provincia de humedad Húmedo también fue la principal, pero ocupó un área inferior (38,1%). La menor coincidencia entre las categorías comunes fue en la provincia Pluvial.

La diferencia entre los rangos de los parámetros utilizados por cada clasificación para definir provincias de humedad, explica la diferencia entre el número de categorías obtenidas en las zonificaciones climáticas. En ese sentido, el Factor de Lang (P/T) de la clasificación de Caldas-Lang, utilizó rangos de valores más próximos que los que utilizó Holdridge para definir la Evapotranspiración Potencial (ETPP/P). Es así como en el piso térmico Cálido los rangos del Factor de Lang permitieron definir cuatro provincias de humedad mientras los rangos de Evapotranspiración Potencial solo dos.

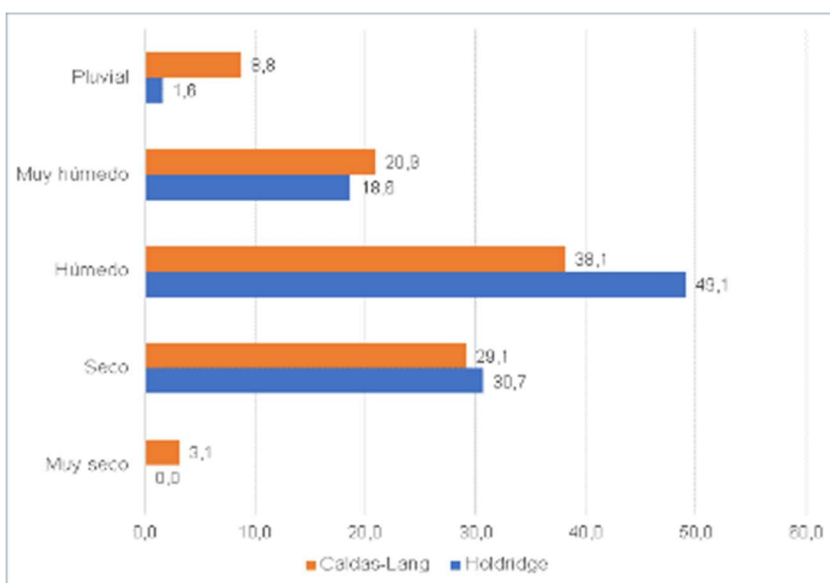


Figura 33. Distribución porcentual provincias de humedad zonificaciones de Caldas-Lang y Holdridge.

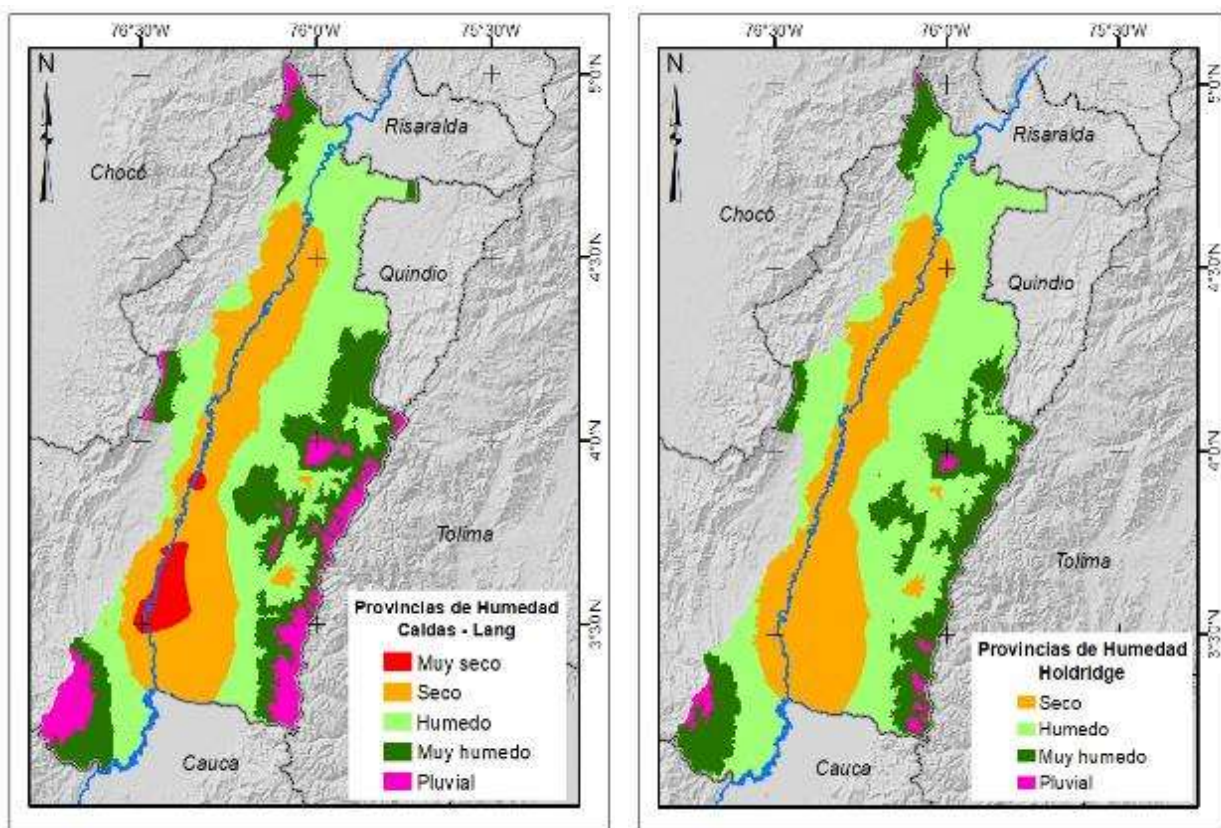


Figura 34. Distribución geográfica de provincias de humedad de Caldas – Lang y Holdridge.

Los resultados de provincias de humedad obtenidos por las zonificaciones son coherentes con los estudios de rendimientos hídricos de cuencas hidrográficas realizados por CVC (2018). El rendimiento hídrico corresponde a la cantidad de agua superficial disponible en un área determinada y un intervalo de tiempo específico, expresada usualmente en litros por segundo por kilómetro cuadrado (IDEAM, 2010., citado en Pérez-Valbuena et al., 2015). Al sur occidente de la zona de estudio, donde se presentan precipitaciones cercanas a 4000 mm/año y se encuentra la provincia de humedad Pluvial, están las cuencas con mayores rendimientos hídricos como son río Claro con 71 l/s-km², Timba con 47 l/s-km² y Jamundí con 45 l/s-km² (CVC, 2018). En contraste, las zonas de menor precipitación, categorizadas con provincias de humedad Seco y Muy Seco se

encuentran las cuencas con menores rendimientos como Arroyohondo que tiene 8 l/s-km², Yumbo, Vijes y Mulaló con 7 l/s-km², Mediacanoa con 15 l/s-km² y Yotoco con 1 l/s-km², estando muy por debajo del promedio para el área hidrográfica que es de 31,7 l/s-km² (CVC. 2018).

7.5.1.3 Comparación estadística

La comparación estadística de las zonificaciones climáticas mediante el Criterio de Información de Akaike (AIC) permitió determinar cuál clasificación se ajustó mejor a los datos climáticos de la zona de estudio. De acuerdo a los parámetros utilizados por el AIC (Tabla 21), se deduce que Holdridge tuvo mejor ajuste a los datos en vista de que obtuvo un valor más bajo que Caldas-Lang. Holdridge también presentó valores más bajos que su comparado en las medidas adicionales como Δ AIC y las probabilidades relativas. Valores altos de Devianza como los obtenidos por la zonificación de Caldas-Lang, indican que hubo baja bondad de ajuste del modelo. Los valores R² y ECM corroboraron que el modelo de mejor ajuste de datos fue el de Holdridge.

Tabla 21. *Parámetros de comparación estadística para las zonificaciones climáticas.*

Modelo	AICc	Delta AICc	AICc Weights	Model Likelihood	Num. Par	Deviance	R ²	MSE
Holdridge	1440,8	0	1.000000e+00	1.000000e+00	3	938.4	0,97	2,44
Caldas - Lang	2094,6	653.8	1.077639e-142	1.077639e-142	2	5149,8	0,90	13,4

Si bien es cierto que el análisis estadístico mostró que Holdridge en su conjunto fue el mejor modelo de ajuste a los datos de la zona de estudio, contrasta con el hecho de que Caldas-Lang mostró un mayor detalle de condiciones climáticas tanto a nivel de unidades climáticas como de provincias de humedad.

Vale la pena destacar que las dos zonificaciones mostraron resultados similares en igual número de pisos térmicos y de unidades climáticas en los pisos térmicos Frío y Páramo Bajo. Esto debido a que las clasificaciones son conceptualmente similares, pues se basan en la relación de la temperatura y la precipitación; teniendo de particular Holdridge que adiciona al modelo la evapotranspiración potencial promedio (ETPP) como resultado de la temperatura y la constante 58,93. Por otro lado, la cantidad y distribución de las estaciones climáticas facilitan a las clasificaciones climáticas una buena representación de las condiciones climáticas del área de estudio.

7.5.2 Zonificaciones climáticas y zonificación clima edáfico

La comparación estadística de las zonificaciones utilizó las pruebas de Friedman y Wilcoxon a nivel de pisos térmicos y provincias de humedad, con la hipótesis de que los tres clasificaban de igual manera versus que al menos uno de ellas difería en su forma de clasificar. En otras palabras, se contrastó la hipótesis de que los tres modelos estaban dando la misma respuesta.

La clasificación disponible en las tres zonificaciones estaba dada por un número de dos cifras, en donde la primera de ellas indicaba el piso térmico y el segundo la provincia de humedad. A partir de los 2675 puntos tomados sobre cada una de las zonificaciones, se hizo la evaluación en forma separada, es decir, se comparó lo obtenido en el piso térmico y la provincia de humedad.

7.5.2.1 Pisos térmicos

En términos generales, las tres zonificaciones mostraron proporciones semejantes en los pisos térmicos, siendo notables las diferencias en las categorías Cálido y Templado (Figura 35).

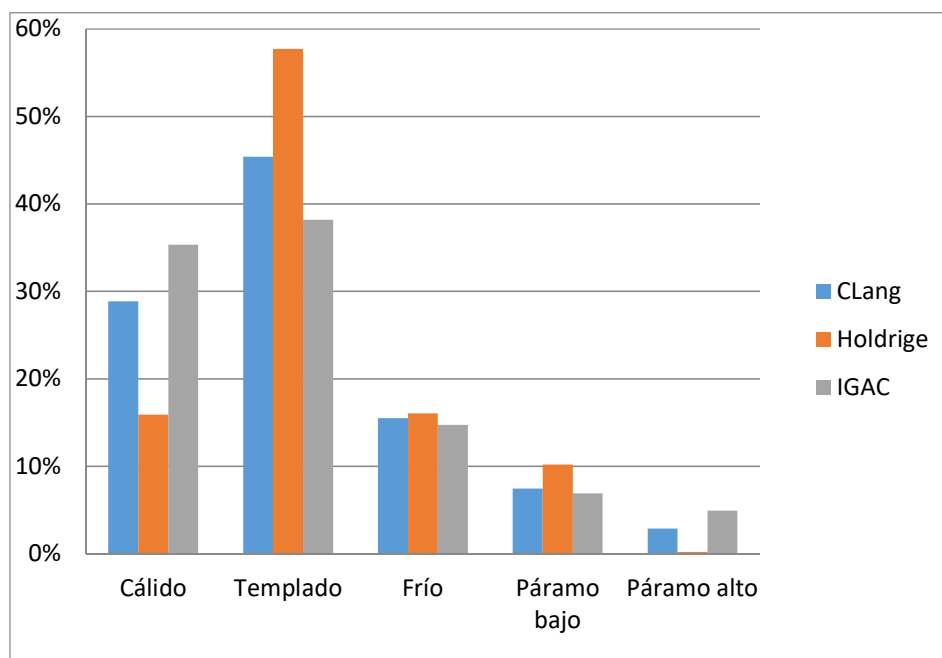


Figura 35. Distribución de los pisos térmicos para las tres zonificaciones comparadas.

La prueba de Friedman indicó que hay diferencias en al menos una de las zonificaciones, ya que el valor p obtenido estuvo por debajo de un alfa de 5% (Tabla 22).

Tabla 22. Resultados prueba de Friedman en la comparación de pisos térmicos de las zonificaciones.

Valor p	Decisión	Conclusión
2.2e-16	Rechazo H_0	Al menos uno de los modelos difiere

Dados los resultados de la Tabla 22, fue necesario identificar cual zonificación era diferente de las demás o si se podía pensar que ninguna de ellas se parecía a otra, para lo cual se hizo la prueba por pares de Wilcoxon. En la Tabla 23 se aprecia que hubo semejanzas entre las zonificaciones de Suelos y Caldas Lang (0.66), mientras que Holdridge no mostró coincidencias con las demás.

Tabla 23. Resultados prueba de Wilcoxon en la comparación de pisos térmicos de las zonificaciones.

Modelo	CLang	Holdridge
Holdridge	$< 2e-16$	
Suelos	0.66	7.3e-06

7.5.3 Comparación provincias de humedad

La distribución porcentual de las provincias de humedad de las zonificaciones comparadas, en términos generales, fue similar a la observada en los pisos térmicos. La distribución espacial fue similar en las provincias de humedad Seco, Húmedo y Muy Húmedo (Figuras 36 y 37); en contraste, hubo poca coincidencia en la distribución espacial de la provincia de humedad Pluvial en las tres zonificaciones climáticas. La zonificación Caldas-Lang es la única que representó la provincia de humedad Muy Seco, la cual coincidió con los sitios de menor precipitación en la zona de estudio (valores de precipitación media anual inferior a 800 mm/año).

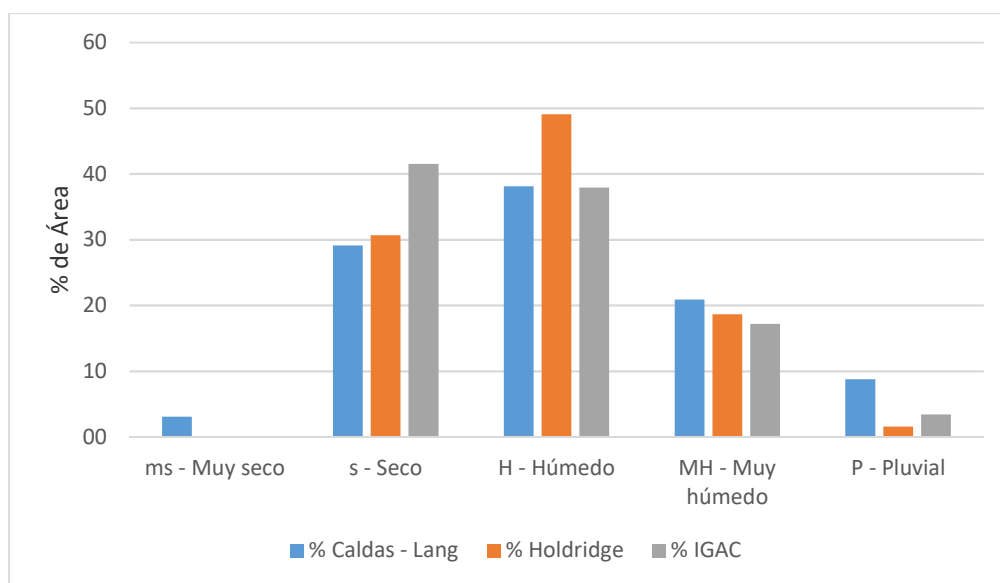


Figura 36. Distribución de provincias de humedad para las tres zonificaciones comparadas.

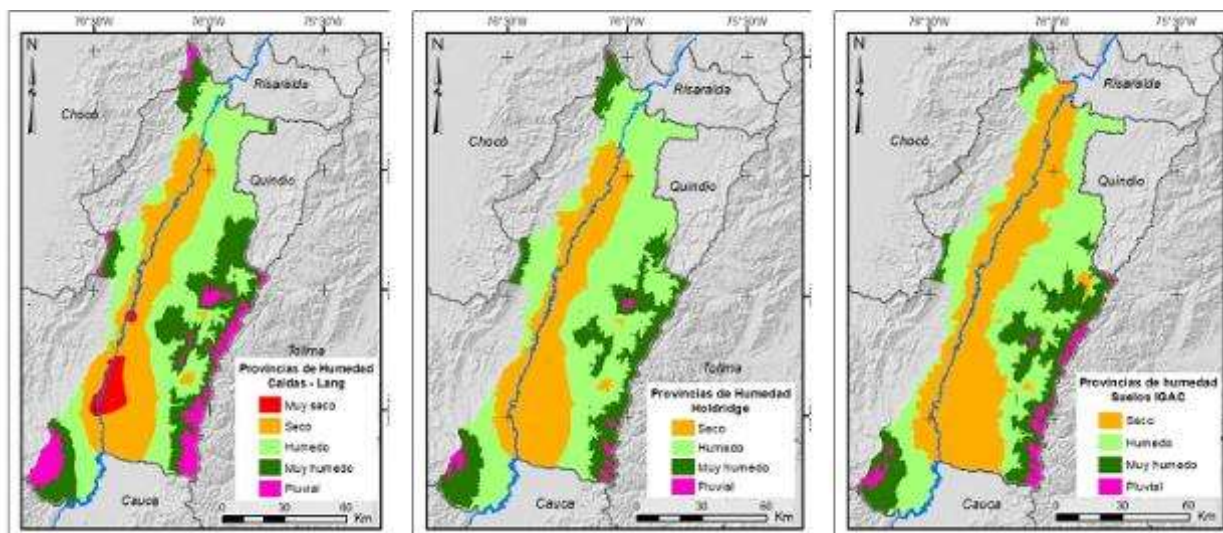


Figura 37. Provincias de humedad para las zonificaciones de Caldas – Lang (izquierda), Holdridge (centro) y Suelos (derecha).

La prueba de Friedman indicó que hay diferencias en al menos uno de las zonificaciones, ya que el valor p obtenido estuvo por debajo de un alfa de 5% (Tabla 24).

Tabla 24. Resultados prueba de Friedman en la comparación de las provincias de humedad de las zonificaciones.

Valor p	Decisión	Conclusión
2.2e-16	Rechazo H0	Al menos uno de los modelos difiere

Dados los resultados de la Tabla 24, fue necesario identificar cual zonificación era diferente de las demás, para lo cual se hizo la prueba por pares de Wilcoxon; se aprecia en la Tabla 25 que todas las zonificaciones fueron diferentes, es decir, no hubo suficientes coincidencias para determinar que estaban dando el mismo resultado. Esto permite inferir que ningún par de zonificaciones clasifica significativamente igual a la otra, cada una tiene resultados diferentes.

Tabla 25. Resultados prueba de Wilcoxon en la comparación de las provincias de humedad de las zonificaciones.

Modelo	CLang	Holdridge
Holdridge	$< 2e-16$	
Suelos	$< 2e-16$	$< 2e-16$

Para tener una idea más concreta respecto de la información que aporta la zonificación del clima edáfico se hizo un análisis comparativo con las zonificaciones climáticas a una escala más detallada. Es así como se tomó la cuenca alta del río Bugalagrande ubicada al nororiente de la zona de estudio y se compararon los resultados las zonificaciones a nivel de provincias de humedad. La Figura 38 se muestra que la zonificación de Holdridge, Caldas-Lang y Suelos arrojaron dos, tres y cuatros categorías de provincias de humedad respectivamente. Mientras las zonificaciones climáticas se basaron en una estación de temperatura y precipitación para arrojar el resultado, la zonificación del clima edáfico utilizó más de 170 observaciones de campo (22 perfiles y cerca de 150 barrenos y cajuelas).

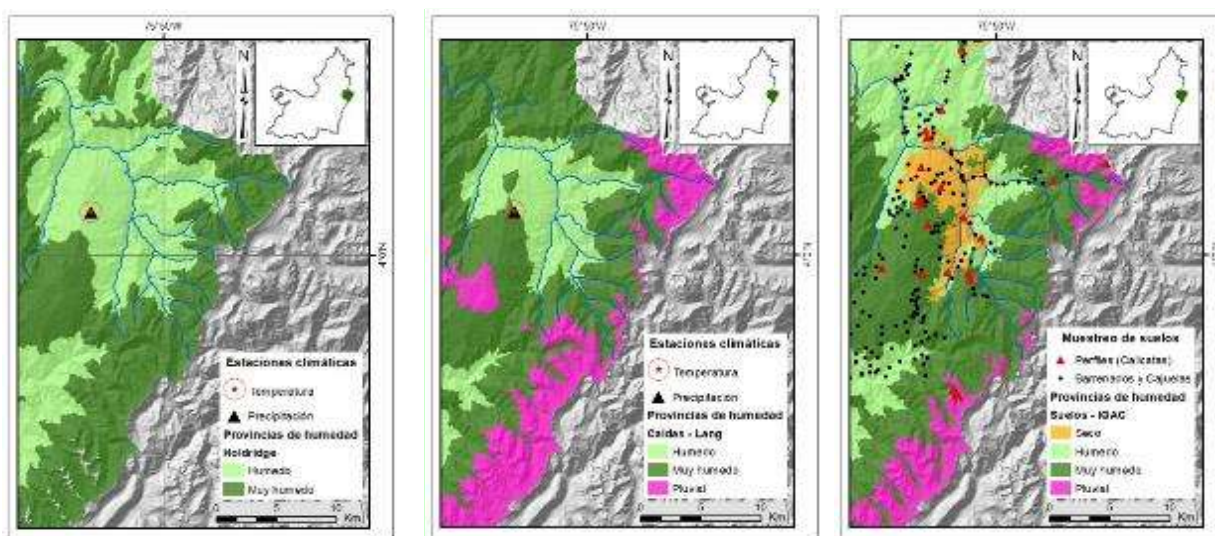


Figura 38. Provincias de humedad Holdridge (izquierda), Caldas-Lang (centro) y Suelos (derecha) en la cuenca alta río Bugalagrande, departamento del Valle del Cauca.

La ubicación de la estación meteorológica no alcanzó a identificar la condición climática seca que incidió en la formación de los suelos de la zona de análisis, lo cual si pudo ser evidenciado mediante las observaciones de campo y análisis de laboratorio y oficina del estudio semidetallado de suelos. Queda claro como la ubicación y número de estaciones meteorológicas inciden significativamente en los resultados de las zonificaciones climáticas.

La condición seca ha sido referenciada por CONIF (1998) en la caracterización climática realizada en el departamento del Valle del Cauca, que indicó que las lluvias en la vertiente occidental de la Cordillera Central, por encima de los 3.500 msnm comienzan a disminuir hasta alrededor de 1.000 mm o menos, como en el páramo de Barragán (área del análisis detallado). Así mismo, Castaño, Von Christen y Quiroga (1980) en el documento de zonificación climática del área jurisdiccional de la CVC reportaron la zona en mención como de clima subhúmedo con épocas secas marcadas, cuyas precipitaciones oscilan entre 800 y 1.200 mm, humedad relativa alta (85%) y evaporación igualmente alta (986 mm). Por su parte, la CVC y el Instituto para la Investigación y la Preservación del Patrimonio Cultural y Natural del Valle del Cauca (CVC-INCIVA, 2018), identificaron los páramos de Sevilla y bosques secos de la cuenca alta del río Bugalagrande (Figura 39) como áreas potenciales dentro del proceso de declaratoria de áreas protegidas en el departamento del Valle del Cauca

A partir del anterior análisis, se observa como la zonificación del clima edáfico puede complementar los análisis de las caracterizaciones climáticas, esto, además de favorecer una mejor evaluación de la capacidad de uso y manejo de los suelos. De acuerdo con Chinchilla, Alvarado y Mata (2011), la metodología utilizada en los levantamientos de suelos sintetiza una zonificación climática basada en los perfiles de suelos (modelos edafogénicos) y su vegetación circundante

considerando el clima ambiental, factores como el viento, la temperatura y la lluvia que participan en la formación del suelo. Castro *et al.* (2016) comenta que la temperatura del suelo influye en el desarrollo de raíces, la disponibilidad de nutrientes y el movimiento del agua, lo cual determina un círculo de calentamiento-enfriamiento que permite la meteorización y desarrollo genético de los suelos. Estos aspectos se relacionan con la cantidad de energía proveniente del sol, la cantidad absorbida el color del suelo, el tipo de cobertura, la humedad, la pendiente y el ángulo de incidencia de los rayos solares. De acuerdo con lo anterior, los pisos térmicos tienen una correspondencia directa con los regímenes climáticos del suelo.



Figura 39. *Vegetación espinosa con predominio de arbustos espinosos en condición seca, cuenca alta río Bugalagrande, departamento del Valle del Cauca.*

Como se puede evidenciar, una zonificación climática adecuada, realizada con información de un número significativo de estaciones climáticas y en un periodo de tiempo no menor de 30 años, es indispensable a la hora de realizar actividades de gestión y manejo de una cuenca hidrográfica; conocer la distribución espacial de unidades climáticas definidas y, específicamente, de las provincias de humedad, permite obtener información indirecta sobre la disponibilidad de agua en las diferentes zonas que componen la cuenca, para poder realizar análisis sobre la oferta y demanda del recurso hídrico, por supuesto es importante contar con información adicional sobre por ejemplo, las problemáticas ambientales o de contaminación que se puedan estar presentando, junto con el componente social. Para obtener de esta manera, una zonificación adecuada del territorio que se acerque más a la realidad del mismo, insumo importante en las actividades de gestión, y que estas, estén acordes con la realidad del territorio.

8. CONCLUSIONES

Los parámetros de comparación estadística de las zonificaciones climáticas permitieron deducir que el método de clasificación de Holdridge era mejor que Caldas-Lang. A pesar de que esta última zonificación representó una mayor cantidad de unidades climáticas, no significó que este aspecto le diera una ventaja, pues las pruebas estadísticas aplicadas seleccionaron el método de clasificación que menos información perdía o mejor ajuste tenía a los datos utilizados.

Dado que las dos zonificaciones climáticas presentaron igual número de pisos térmicos, la diferencia entre el número de unidades climáticas obtenidas obedeció al mayor número de provincias de humedad que tuvo Caldas-Lang. Los límites de las clases de clima que utiliza Caldas-Lang fueron más estrechos o cercanos que los utilizados por Holdridge. Es decir, el Factor de Lang tuvo más subdivisiones o categorías que los tipos de Evapotranspiración Potencial de Holdridge.

El contraste de las zonificaciones climáticas con la zonificación del clima edáfico mostró semejanza de ésta última con Caldas-Lang a nivel de pisos térmicos. La comparación a nivel de provincias de humedad no mostró semejanza entre las zonificaciones. En términos de distribución porcentual de pisos térmicos y provincias de humedad, las zonificaciones comparadas fueron similares. Hubo coincidencia en el número de pisos térmicos, siendo notables las diferencias en las categorías Cálido y Templado. La distribución espacial fue similar en las provincias de humedad Seco, Húmedo y Muy Húmedo. Así mismo, hubo poca coincidencia en la distribución espacial de la provincia de humedad Pluvial en las tres zonificaciones climáticas. La zonificación Caldas-Lang es la única que representó la provincia de humedad Muy Seco, la cual coincidió con los sitios de menor precipitación en la zona de estudio (valores de precipitación media anual inferior a 800 mm/año).

La zonificación del clima edáfico en estudios semidetallados a escala 1:25.000 aporta información valiosa sobre condiciones climáticas asociadas a la formación de suelos que puede complementar el análisis de las caracterizaciones climáticas de cuencas hidrográficas, además de favorecer una mejor evaluación de la capacidad de uso y manejo de los suelos. En ese sentido, debe sacarse mayor provecho a los estudios semidetallados de suelos requeridos por la guía técnica del MADS para la elaboración de los POMCA, considerando que los mismos son producto de importantes observaciones de campo y análisis integrales de laboratorio y oficina.

9. RECOMENDACIONES

Los límites de pisos térmicos y provincias de humedad de las clasificaciones de Caldas–Lang y Holdridge requieren ser analizados de manera particular en la zona de estudio para poder tener mayor certeza de la pertinencia del uso de una u otra, acorde a la disponibilidad de información climática. Sobre este último aspecto, también es importante revisar la ubicación de las estaciones meteorológicas, su distribución y cobertura para determinar la fiabilidad de la información climática.

La CVC y el IDEAM deben revisar la distribución y ubicación de las estaciones meteorológicas teniendo en cuenta la heterogeneidad de condiciones geográficas del territorio y el déficit existente en algunas zonas para el mejoramiento de la red y de la información climática que de ella se obtenga. Es claro que la cantidad y calidad de la información climática a utilizar debe ser coherente con el nivel de detalle de los estudios que se vayan a realizar.

Se recomienda estudiar el diseño de un modelo de zonificación climática dinámico, que permita reconocer los cambios temporales y espaciales de las variables climáticas, e interpretar mejor el comportamiento del territorio. Lo anterior permitirá evolucionar el concepto de zonificación climática y hacerlo más acorde con los escenarios de cambio que se esperan en diferentes ámbitos del planeta. Sobre este último aspecto es importante decir que aún hay mucho por conocer y cierto nivel de incertidumbre, como lo pudo evidenciar la CVC y la Universidad del Valle (2009) a partir de un estudio realizado en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime sobre los efectos de la variabilidad y el cambio climático en variables climáticas; al realizar las proyecciones al año 2020 encontraron divergencia en las tendencias de la precipitación y el caudal que aumentaron un 1%

en Tuluá y disminuyeron un 4% en Amaime, así mismo, mientras la evaporación descendió un 1% en Tuluá aumentó un 2% en Amaime; es decir, un comportamiento divergente en la variables climáticas en cuencas ubicadas dentro de la misma vertiente y relativamente cercanas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álzate, D., Araujo C., Rojas B., Gómez L., y Martínez M. (2017). Interpolación Regnie para lluvia y temperatura en las Regiones Andina, Caribe y Pacífica de Colombia. *Colombia Forestal*, 21, 102-118.
- Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *International Journal of Climatology*, 661-675.
- Baron, A. (2003). Modelos geoespaciales de la distribución de las variables climatológicas en el territorio colombiano. *Revista Meteorología Colombiana*, 7, 81 – 89.
- Boer, E., DeBeurs K. y Hartkamp, D. (2001). Kriging and thin plate splines for mapping climate variables. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 3, 2, 146 – 154.
- Castaño, F., Von Christen, H., y Quiroga, R. (1980). Zonificación climática preliminar del área jurisdiccional de la CVC con fines agrícolas y forestales. Informe CVC No. 86-6. Buga, Colombia.
- Castañeda, P. M. (2014). Zonificación climatológica según el modelo Caldas-Lang de la cuenca río Negro mediante el uso del Sistema de Información Geográfica SIG. Bogotá D. C.
- Castro C.E., Agualimpia, Y. y Sánchez, F. (2016). Modelo climático de los páramos de la cordillera Oriental Colombiana aplicado a regímenes de temperatura del suelo. *Revista Perspectiva Geográfica* 21 (1), 33 – 62.
- Chinchilla, M., Alvarado, A. y Mata, R. (2011). Factores formadores y distribución de suelos de la Subcuenca del río Pirrís, Talamanca, Costa Rica. *Revista Agronomía Costarricense* 35 (1), 33 – 57.

Colotti B., E. (2000). Evaluación de algunas clasificaciones agroclimáticas. Revista Terra. pp. 189-202.

Colotti B., E. (2003). La clasificación climática de Holdridge: incoherencias y soluciones. Estudios Geográficos, 01 March 2003, Vol.64 (250), pp.5-21.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y Fundación Agua Viva (FUNAGUA) (2010). Análisis preliminar de la representatividad ecosistémica, a través de la recopilación, clasificación y ajuste de información primaria y secundaria con rectificaciones de campo del mapa de Ecosistemas de Colombia, para la jurisdicción del Valle del Cauca. Santiago de Cali, Colombia.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) e Instituto para la Investigación y la Preservación del Patrimonio Cultural y Natural del Valle del Cauca (INCIVA) (2018). Declaratoria y manejo de áreas protegidas y el ordenamiento de ecosistemas estratégicos, como estrategia de fortalecimiento del Sistema Departamental de Áreas Protegidas y el Sistema Regional de Áreas Protegidas Eje Cafetero. Santiago de Cali, Colombia.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y Universidad del Valle (2009). Estudio de los efectos de la variabilidad y el cambio climático en variables climáticas de la cuenca del río cauca y su relación con factores ambientales y socioeconómicos en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime. Santiago de Cali, Colombia.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y Universidad del Valle (2014). Isoyetas de precipitación máxima durante las crecientes históricas del río Cauca en su valle alto (1988-2011). Santiago de Cali, Colombia.

- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y Universidad de San Buenaventura (2015). Zonificación del corredor río Cauca. Cali, Colombia. CVC – Universidad de San Buenaventura. Convenio especial de cooperación técnica y académica No. 74 de 2014. 224 p.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) (2018). Planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas. <http://cvc.gov.co/documentos/planes-y-programas/planes-de-ordenacion-y-manejo-de-cuencas-hidrografica>.
- Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF) (1998). Guía para plantaciones forestales comerciales Valle del Cauca. Serie de documentación No. 41. Santafé de Bogotá.
- De Oliveira, L.E., De Souza, G., Richetti J., De Souza, P. y Johann J. A. (2016). Köppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the State of Paraná, Brazil. *Ciencia e Agrotecnología*. 40, 4, 405 – 417.
- Diodato, N., Tartari, G. y Bellocchi, G. (2010). *Water Resour Manage*. 24: 2703. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9575-2>.
- Espinal, L. S. y E. Montenegro (1963). Formaciones vegetales de Colombia. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. IGAC, Bogotá D. C., Colombia.
- Eslava, J., Lopez, V. y Olaya, G. (1986a). Los climas de Colombia - Sistema de W. Köppen. *Atmósfera* 5:35-81. Bogotá.
- Eslava, J., Lopez, V. y Olaya, G. (1986b). Los climas de Colombia - Sistema de C.W.Thornthwaite. *Atmósfera* 6:33-76. Bogotá.
- Eslava, J., Lopez, V. y Olaya, G. (1986c). Los climas de Colombia - Sistema de Caldas - Lang. *Atmósfera* 7:41-77. Bogotá.

- Eslava, J., Lopez, V. y Olaya, G. (1986d). Los climas de Colombia - Sistema de E. De Martonne. *Atmósfera* 8:47-79. Bogotá.
- Eslava, J., Lopez, V. y Olaya, G. (1986e). Contribución al conocimiento del régimen térmico y pluviométrico de Colombia. *Colombia Geográfica* XII (2):53-118. Bogotá.
- Eslava, J. 1988. Características climáticas del área de Repelón (Atlántico - Colombia). *Trimestre Geográfico* 12:19-32. Bogotá D. C.
- Etter, A. (1998). Mapa general de ecosistemas de Colombia. En: Chaves. M. E. y Arango N. (Eds.). *Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad – Colombia. Tomo I. Causas de pérdida de la biodiversidad.* Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, PNUMA y Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá D. C., Colombia.
- Flohn, H. (1950). Neue Anschauungen über die allgemeine zirkulation der atmosphäre und ihre klimatische bedeutung. *Erdkunde*, 4, 141-162.
- Forsythe N., Blenkinsop S. y Fowler H. J. (2015). Exploring objective climate classifications for the Himalayan arc and adjacent regions using gridded data sources. *Earth System Dynamics*, 6, 311 – 326.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak G., Rowland J., Harrison L., Hoell A. y Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations – a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2, 1 – 21.
- García, E. (1964). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana).* Mexico: Instituto de Geografía, UNAM.

- Guijarro, J. A. (2014). User's guide to climatology. An R contributed package for homogenization of climatological series (and functions for drawing wind-rose and Walter & Lieth diagrams). Version 2.2. State Meteorological Agency AEMET. España: Balearic Islands Office. 40 p.
- Guisande, C., Vaamonde, A. y Barreiro, A. (2013). Tratamiento de datos con R estadística y SPSS. Madrid, España: Ediciones Diaz de Santos. 997 p.
- Gregory, W., Corder, D y Foreman, I. (2014). Nonparametric Statistics: A Step-by-Step Approach, 2nd Edition.
- Holdridge, L. R. (1978). Ecología basada en zonas de vida. Centro Interamericano de Documentación e Información Agrícola-IIICA, San José de Costa Rica, Costa Rica.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2005). Atlas Climatológico de Colombia, Bogotá D. C., Colombia. IDEAM – MADS. 12 p
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2007). Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Bogotá, D. C., Colombia. 276 p. + 37 hojas cartográficas IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2015). Estudio nacional del agua, 2014, Bogotá, D. C. Ideam, p. 496.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (1977). Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia. Imprenta del IGAC, Bogotá D. C., Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2018). Zonificación climática. Grupo interno de trabajo Levantamiento de Suelos. Bogotá D.C., Colombia.

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y Centro de Investigación de la Caña (CENICAÑA) (2005). Estudio detallado de suelos y capacidad de uso de las tierras sembradas con caña de azúcar localizadas en el Valle Geográfico del río Cauca. Santiago de Cali, Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2014). Metodología de levantamiento de suelos. Bogotá D.C.: Grupo interno de trabajo de Levantamiento de Suelos.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) (2004). Levantamiento de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento del Valle del Cauca, escala 1:100.000. Santiago de Cali, Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) (2016). Levantamiento semidetallado de suelos de las cuencas priorizadas por la CVC en el Departamento del Valle del Cauca. Santiago de Cali, Colombia.
- Köppen, W. (1928). Das Geographische System der Klimatologie. Berlín. 44 p.
- Krige, D. G. (1951). A statistical Approach to Some Basic Mine Valuation Problems on the Witwatersrand. Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa, 52, 119-139.
- Martínez, D., Albín, J., Cabaleiro, J., Penal T., Rivera F. y Blanco V. (2009). El Criterio de Información de Akaike en la obtención de Modelos Estadísticos de Rendimiento. https://www.researchgate.net/publication/236279245_El_criterio_de_informacion_de_Akaike_en_la_obtencion_de_modelos_estadisticos_de_Rendimiento.
- Martonne E. (1937). A shorter physical geography. A. A. Knopf. 338 p.
- Mesa, O., Poveda, G. y Carvajal L. (1997). Introducción al clima de Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. Pp. 48-93-

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) (2012). Decreto 1640 de 2012. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) (2014). Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, Bogotá, Colombia, 196 p.
- Molina, B., R., Aguilar, F., Perilla, S. y Sánchez, H. (2016). Caracterización del ambiente térmico para la actividad ganadera bovina en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*, 65, 4, 406 - 412.
- Montoya, G., Eslava J., Calderon A. y Vega F. (2000). Implementación del método Ganding para interpolar datos de precipitación en Colombia. *Revista Meteorología Colombia* No.1, 2 5 - 30.
- Morales, S. L.; Canessa, M. F.; Mattar, C., Orrego, R. y Matus, F. 2006. Caracterización y zonificación edáfica de la región de Coquimbo, Chile. *J. Soil Sci. Plant. Nutr.* 6(3):52-74.
- Narváez, G., & G. León. 2001. Caracterización y zonificación climática de la Región Andina. *Meteorología Colombiana*. 4:121-126. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C. – Colombia.
- Núñez, J.A. (2009): Herramientas para desarrollos meteorológicos: SIG de explotación meteorológica. ED: Agencia Estatal de Meteorología.
- Olivares, N. C. (2015). Climatología en Asturias en el periodo 1980-2010. Universidad de Oviedo, España.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM) (1992). Vocabulario Internacional, Publicación N° 182. ISBN: 92-63-02182-1.

- Organización Meteorológica Mundial (OMM) (1994). Guía de prácticas hidrológicas, adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones. documento OMM-Nº 168, Ginebra, Suiza. 818 p.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2011). Guía de prácticas climatológicas, documento OMM-Nº 100, Ginebra, Suiza. 128 p.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2015). Manual del Sistema Mundial de Observación. Volumen I: Aspectos Mundiales. Anexo V del Reglamento Técnico. OMM-Nº 544, Ginebra, Suiza. 66 p.
- Pabón, J., Eslava J. y Gómez R. (2001). Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y la precipitación en Colombia. *Revista Meteorología Colombiana*, 4, 47 – 59.
- Pérez-Valbuena, G. J., Arrieta A.M. y Contreras J.G. (2015). Río Cauca. La geografía económica de su área de influencia. Documentos de trabajo sobre Economía Regional. Banco de la República. Centro de Estudios Económicos Regionales (CEER)-Cartagena, Colombia. 82 p.
- Pérez-Briceño, A. y Alfaro, E. (2017). Dos propuestas de clasificación climática para la vertiente Caribe costarricense según el sistema de Thornthwaite. *Revista de Climatología*, 01, Vol.17, 1-16
- Philip, G. M. & Watson D. F. (1982). A Precise Method for Determining Contoured Surfaces. *Australian Petroleum Exploration Association Journal*, 22, 205–212.
- Rauthe, M. A. (2013). A Central European precipitation climatology - Part I: Generation and validation of a high-resolution gridded daily data set (HYRAS). *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 235-256.

- Rivas-Martinez, S. (1994). Sistema de clasificación bioclimática de la Tierra. *Folia Botánica Matritensis*, 16,1-29.
- Rodríguez G, J. y Colotti B., E. (1998). Evaluación de la clasificación climática de Holdridge mediante un procedimiento automático. 38 Convención Anual de la Asociación para el Avance de la Ciencia, ASOVAC'98. Maracaibo, Venezuela.
- Rodríguez, N., Armenteras, D., Morales, M. y Romero M. (2004). Ecosistemas de los Andes colombianos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá D. C., Colombia.
- Sánchez, N. y Garduño, R. (2007). Algunas consideraciones acerca de los sistemas de clasificación climática. *ContactoS* 68, 5 – 10.
- Sibson, R. (1980). A vector identity for the Dirichlet tessellation. *Mathematical proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 87, 1, 151-155
- Terán, C., Jiménez, C., González, C. y Villaneda, E. (1998). Metodología para la zonificación agroclimática de la región de La Mojana mediante el sistema de información geográfica ARC/Info. *Revista Corpoica* 2-2:19–26.
- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach towards a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38, 55-94.
- Tusell, F. *Análisis de regresión: Introducción teórica y práctica basada en R*. 2011. <http://www.et.bs.ehu.es/~etptupaf/nuevo/ficheros/estad3/nreg1.pdf>.
- Villota, H. (1992). El sistema CIAF de clasificación fisiográfica del terreno. *Revista CIAF*, 13(1): 55-70. Santa Fe de Bogotá.

Anexo 1. Estaciones utilizadas para el desarrollo del estudio (Fuente: CVC-IDEAM).

a) Estaciones precipitación

No.	Código	Precipitación	Longitud	Latitud	Elevación	Entidad
1	26020380	2.298,9919	-76,55600000	3,075000000	979,2	IDEAM
2	26045010	1.353,7839	-76,41700000	3,263000000	966,1	IDEAM
3	26050270	2.718,0255	-76,71900000	3,116000000	1127,5	IDEAM
4	26055070	1.476,8729	-76,53400000	3,378000000	975,1	IDEAM
5	26060020	1.208,1871	-76,34600000	3,320000000	985,4	IDEAM
6	26060030	1.821,8845	-76,46900000	3,177000000	965,6	IDEAM
7	26065010	1.351,4619	-76,34700000	3,269000000	984,4	IDEAM
8	26065020	1.541,2371	-76,22300000	3,246000000	1104,0	IDEAM
9	26070110	1.596,5490	-76,21100000	3,527000000	1164,4	IDEAM
10	26070170	1.256,7684	-76,25000000	3,460000000	1041,0	IDEAM
11	26070760	1.614,6274	-76,23900000	3,328000000	1038,7	IDEAM
12	26075010	1.057,2406	-76,31500000	3,513000000	990,8	IDEAM
13	26075040	892,0861	-76,38600000	3,533000000	961,8	IDEAM
14	26075080	1.130,5068	-76,29900000	3,361000000	996,3	IDEAM
15	26080070	900,0955	-76,43000000	3,699000000	948,5	IDEAM
16	26085120	1.050,5981	-76,50300000	3,457000000	961,7	IDEAM
17	26090630	964,5713	-76,33200000	3,770000000	973,5	IDEAM
18	26095230	1.178,8152	-76,30000000	3,835000000	966,5	IDEAM
19	26100070	1.193,2006	-76,14800000	4,224000000	942,8	IDEAM
20	26100300	1.497,1290	-75,96600000	4,589000000	945,6	IDEAM
21	26100410	1.525,1797	-76,05600000	4,172000000	1159,4	IDEAM
22	26100700	1.706,2352	-76,10100000	4,087000000	1292,7	IDEAM
23	26100740	1.219,2029	-76,04000000	4,516000000	914,4	IDEAM
24	26100770	1.790,8239	-76,04300000	4,114000000	1359,4	IDEAM
25	26100780	1.201,3126	-76,07400000	4,383000000	924,2	IDEAM
26	26100790	1.056,6719	-75,80600000	4,057000000	2759,4	IDEAM
27	26100800	1.134,5377	-76,06600000	3,889000000	2484,5	IDEAM
28	26100830	1.464,6781	-75,96200000	4,688000000	903,6	IDEAM
29	26105140	989,9574	-75,88800000	4,033000000	3007,4	IDEAM
30	26105150	1.471,6029	-76,03300000	4,239000000	988,7	IDEAM
31	26105160	1.300,1684	-76,22300000	4,090000000	957,0	IDEAM
32	26105230	1.323,2532	-76,16800000	4,029000000	1112,0	IDEAM
33	26110040	1.093,1961	-76,19000000	4,343000000	945,6	IDEAM

No.	Código	Precipitación	Longitud	Latitud	Elevación	Entidad
34	26110060	1.019,1645	-76,11700000	4,467000000	906,6	IDEAM
35	26110070	1.203,7252	-76,06700000	4,617000000	932,5	IDEAM
36	26110110	1.177,5445	-76,05000000	4,583000000	904,6	IDEAM
37	26110120	3.245,4329	-76,03800000	4,971000000	1305,9	IDEAM
38	26110150	1.550,4494	-75,98700000	4,794000000	939,2	IDEAM
39	26110160	1.411,8558	-76,03600000	4,685000000	942,3	IDEAM
40	26110230	1.046,0497	-76,10100000	4,419000000	908,5	IDEAM
41	26110290	1.114,2542	-76,09400000	4,532000000	934,9	IDEAM
42	26110300	1.045,6165	-76,03400000	4,617000000	905,3	IDEAM
43	26115040	1.123,2758	-76,06200000	4,531000000	909,5	IDEAM
44	26115080	1.074,8219	-76,08000000	4,481000000	907,4	IDEAM
45	26120170	2.312,7090	-75,70600000	4,333000000	1656,5	IDEAM
46	26120180	1.815,2213	-75,87500000	4,410000000	1035,6	IDEAM
47	26125060	2.161,0203	-75,76600000	4,455000000	1210,7	IDEAM
48	26125130	2.389,7865	-75,83200000	4,185000000	1709,0	IDEAM
49	26130180	1.845,0468	-75,85800000	4,801000000	1169,8	IDEAM
50	26130220	2.009,3426	-75,84200000	4,813000000	1189,0	IDEAM
51	26135100	1.934,8500	-75,87800000	4,878000000	962,3	IDEAM
52	26140180	1.944,4774	-75,88200000	4,893000000	899,0	IDEAM
53	53100040	1.303,1765	-76,70900000	3,518000000	1517,4	IDEAM
54	53110100	1.257,4706	-76,56600000	3,648000000	1601,9	IDEAM
55	54030010	1.373,6877	-76,20200000	4,573000000	1864,2	IDEAM
56	54030020	887,6052	-76,35300000	4,357000000	1167,6	IDEAM
57	2610000103	1.651,8039	-75,91828989	4,651323061	952,4	CVC
58	2610000105	2.121,2203	-76,02364522	4,622550900	907,5	CVC
59	2610000202	1.433,1842	-75,93024164	4,713822333	903,7	CVC
60	2612200103	2.690,8632	-76,10803696	3,263433056	3638,6	CVC
61	2612200105	1.482,6368	-76,06922410	3,226513031	3942,6	CVC
62	2612700105	878,7823	-76,43389163	3,576068874	949,5	CVC
63	2612700201	1.138,3387	-76,27860228	3,580409586	1032,1	CVC
64	2612710103	1.026,8994	-76,34620024	3,417258080	976,9	CVC
65	2612710105	1.916,9142	-76,15444180	3,353922949	2193,3	CVC
66	2612720101	1.055,4119	-76,39965515	3,461620182	957,8	CVC
67	2612720103	2.120,2097	-76,10832739	3,458329156	2633,8	CVC
68	2612800103	1.217,0129	-75,99690923	3,630476219	3596,8	CVC
69	2612800104	900,3303	-76,10813753	3,622057350	1551,3	CVC

No.	Código	Precipitación	Longitud	Latitud	Elevación	Entidad
70	2612800106	1.236,9981	-76,01649126	3,706387351	2477,3	CVC
71	2612800107	1.254,3165	-76,25822101	3,432024815	1028,4	CVC
72	2612800201	1.066,2481	-76,29094727	3,646987624	1017,0	CVC
73	2612800202	1.180,3694	-76,08024876	3,730477811	2673,5	CVC
74	2612810102	1.438,2748	-76,02377997	3,480999936	3984,9	CVC
75	2612810108	1.816,1406	-76,17137727	3,520692941	1525,0	CVC
76	2612810109	1.973,2613	-76,16214956	3,530439362	1994,6	CVC
77	2612810112	1.964,1913	-76,17351169	3,578847261	1743,8	CVC
78	2612810122	1.327,5390	-76,21822347	3,547701774	1149,7	CVC
79	2612810201	1.600,1781	-76,20149554	3,548686303	1261,9	CVC
80	2612810203	1.406,4403	-76,07287375	3,513765460	3477,8	CVC
81	2613000102	1.681,4403	-76,20014621	3,649772883	1271,0	CVC
82	2613000103	1.842,2639	-76,19242371	3,665107236	1412,5	CVC
83	2613100103	1.760,6248	-76,19559770	3,744595293	1701,7	CVC
84	2613100106	1.567,2135	-76,16596733	3,773299273	1836,9	CVC
85	2613100107	1.822,5665	-76,23089022	3,754992657	1205,0	CVC
86	2613200101	973,6694	-76,27316696	3,777727944	1043,7	CVC
87	2613200105	2.675,2452	-76,21001145	3,839630765	2071,5	CVC
88	2613600101	2.144,1313	-76,18164828	3,908690179	1790,2	CVC
89	2613600102	2.227,3461	-76,15033500	3,877505927	2197,1	CVC
90	2613600103	1.752,3935	-76,19775469	3,919408937	1619,7	CVC
91	2613600105	1.124,5871	-76,28531084	3,892253750	1030,0	CVC
92	2613800101	1.461,6400	-76,18142347	3,973012608	1251,4	CVC
93	2614100102	1.465,9629	-76,10086195	3,879067576	2121,5	CVC
94	2614100103	3.178,8571	-76,00948505	3,945502394	2804,4	CVC
95	2614100104	826,3210	-76,02058124	3,900184067	1936,9	CVC
96	2614100202	1.301,3610	-76,18406195	4,069662788	1013,4	CVC
97	2614100203	1.405,4465	-76,06159289	3,962321433	1819,7	CVC
98	2614200101	2.341,8568	-76,07662738	4,028379959	1561,1	CVC
99	2614400101	1.519,9729	-75,86357196	4,080481475	2163,4	CVC
100	2614400102	1.332,6590	-76,14169626	4,212508943	979,5	CVC
101	2614400103	1.886,9403	-75,99500440	4,054339579	1636,2	CVC
102	2614400104	2.305,2545	-75,92759211	4,190972076	1843,0	CVC
103	2614500102	1.520,9377	-76,01917574	4,306940700	982,5	CVC
104	2614900101	1.427,6729	-75,95999820	4,480446939	975,3	CVC
105	2614900102	1.321,9229	-76,04727784	4,388367307	945,7	CVC

No.	Código	Precipitación	Longitud	Latitud	Elevación	Entidad
106	2614900201	1.667,6477	-75,91670027	4,519152243	1391,6	CVC
107	2615000102	1.443,6710	-75,92087139	4,583428053	1240,2	CVC
108	2615400102	2.132,2371	-75,90282158	4,284877360	1541,3	CVC
109	2615400104	1.852,8026	-75,83522630	4,331602611	1221,0	CVC
110	2615400105	2.033,3287	-75,78652049	4,676448624	1234,2	CVC
111	2615400106	1.771,2494	-75,91710825	4,386430282	1184,9	CVC
112	2615400107	1.712,0516	-75,94350992	4,380980862	1060,6	CVC
113	2615400110	1.754,1165	-75,88752645	4,410691509	1038,6	CVC
114	2615400111	1.797,5097	-75,85149691	4,712184171	952,3	CVC
115	2620000103	1.094,9635	-76,49330097	3,447207470	957,9	CVC
116	2620000109	730,3019	-76,34841736	3,891026213	937,7	CVC
117	2620000202	1.267,2355	-76,33364138	4,005389085	952,0	CVC
118	2621500101	2.853,1777	-76,65961648	3,187029159	1487,5	CVC
119	2621500103	2.722,8481	-76,73407565	3,137534444	1495,3	CVC
120	2622100102	1.644,4210	-76,52416813	3,289427027	964,8	CVC
121	2622100103	2.742,6094	-76,62639189	3,269463417	1447,1	CVC
122	2622100104	4.015,9839	-76,65352036	3,251710308	1697,1	CVC
123	2622110101	3.024,6016	-76,65118594	3,327440322	1760,1	CVC
124	2622110201	2.870,5990	-76,63714120	3,317835460	1690,5	CVC
125	2622320101	1.738,2558	-76,59085483	3,391401988	1289,5	CVC
126	2622320103	2.414,0277	-76,62139899	3,373360504	1631,0	CVC
127	2622320201	1.424,6777	-76,53025743	3,363803493	975,0	CVC
128	2622330101	1.179,4377	-76,53367473	3,442282545	982,2	CVC
129	2622330102	1.521,5613	-76,57877738	3,411290144	1056,7	CVC
130	2622330105	1.810,2106	-76,56881179	3,427707383	1309,6	CVC
131	2622330106	1.952,7829	-76,58873454	3,405495155	1203,3	CVC
132	2622330107	1.434,3652	-76,53888504	3,405858795	966,0	CVC
133	2622400101	1.140,4058	-76,53659968	3,460086428	1036,3	CVC
134	2622400103	1.409,3442	-76,54586583	3,445295434	1064,4	CVC
135	2622400104	1.448,2765	-76,62842287	3,452556387	1850,4	CVC
136	2622400201	1.754,3135	-76,66290074	3,449742431	2056,6	CVC
137	2622410102	1.687,7045	-76,60179574	3,438151225	1614,8	CVC
138	2622410104	2.130,6397	-76,66248417	3,415627787	2193,3	CVC
139	2622420101	1.256,2906	-76,55058249	3,487401737	1268,7	CVC
140	2622420102	1.301,0310	-76,62067539	3,517024764	1985,2	CVC
141	2622420103	1.176,0077	-76,60618866	3,506600837	1603,6	CVC

No.	Código	Precipitación	Longitud	Latitud	Elevación	Entidad
142	2622420104	1.375,3387	-76,58788458	3,530406844	2119,2	CVC
143	2622500101	1.275,7206	-76,55457520	3,560263449	1729,2	CVC
144	2622500102	713,2958	-76,50168462	3,518607224	959,4	CVC
145	2622600101	1.196,3658	-76,54750854	3,625355099	1664,9	CVC
146	2622600103	1.115,8910	-76,54991155	3,580332674	1799,9	CVC
147	2622600201	1.098,4948	-76,53487863	3,567463837	1570,5	CVC
148	2622900101	1.095,7481	-76,47998524	3,718518433	1684,1	CVC
149	2622900102	1.113,2813	-76,50876239	3,699397387	1535,5	CVC
150	2623300101	1.633,2787	-76,43060194	3,840527364	1564,6	CVC
151	2623300201	1.421,2352	-76,43643534	3,875816769	1589,3	CVC
152	2623500101	1.741,5387	-76,41868528	3,929589828	1457,2	CVC
153	2624000101	2.214,4910	-76,40060285	4,196716434	1640,5	CVC
154	2624000102	1.308,5429	-76,27739949	4,141306933	932,4	CVC
155	2624600102	1.529,6555	-76,23515012	4,395985938	1674,1	CVC
156	2624600103	1.032,2542	-76,21835695	4,279000467	935,1	CVC
157	2624700103	1.116,0039	-76,09043148	4,608595839	976,1	CVC
158	2624700104	1.097,8616	-76,11647985	4,542707225	1013,2	CVC
159	2624700108	1.696,0968	-76,10768393	4,662610394	1779,1	CVC
160	2624700109	1.201,4594	-76,19207517	4,417099635	1349,5	CVC
161	2624700110	1.583,1948	-76,20085203	4,394796702	1418,5	CVC
162	2624700113	1.163,7168	-76,10016408	4,576957134	1225,6	CVC
163	2624700114	1.213,7497	-76,15890256	4,471228096	1640,7	CVC
164	2624700115	1.145,8200	-76,17462477	4,451230238	1377,2	CVC
165	2624700117	1.271,4416	-76,10953038	4,513793110	984,4	CVC
166	2624700118	1.263,2635	-76,13436955	4,589105762	1704,6	CVC
167	2624700120	1.105,7445	-76,14688011	4,510552315	1364,1	CVC
168	2624700121	1.260,9900	-76,11490466	4,630727168	1498,2	CVC
169	2624700202	1.109,5877	-76,08024936	4,530483281	913,7	CVC
170	2625500102	2.349,3087	-76,05049113	4,900536819	1729,9	CVC
171	5420410107	1.488,3829	-76,30870360	4,436193365	1741,8	CVC
172	5420410113	2.654,4184	-76,14251933	4,677312607	1605,4	CVC
173	5420410114	1.075,4626	-76,19831416	4,617501379	1517,3	CVC
174	5420410118	1.352,2558	-76,38224247	4,298681739	1671,7	CVC

b) Estaciones Temperatura

No.	Código	Temperatura	Longitud	Latitud	Elevación	Entidad
1	26045010	23,6841	3,2630000000	-76,4170000	1000	IDEAM
2	26055070	24,5482	3,3780000000	-76,5340000	985	IDEAM
3	26065010	23,7603	3,2690000000	-76,3470000	1000	IDEAM
4	26065020	23,7157	3,2460000000	-76,2230000	1128	IDEAM
5	26105160	23,8673	4,0900000000	-76,2230000	980	IDEAM
6	26075040	24,3499	3,5130000000	-76,3150000	1050	IDEAM
7	26095080	14,0628	3,5330000000	-76,3860000	961	IDEAM
8	26095230	23,2038	3,7300000000	-76,0750000	2609	IDEAM
9	26105140	12,4568	3,8350000000	-76,3000000	979	IDEAM
10	26105150	23,5345	4,0330000000	-75,8880000	2902	IDEAM
11	26105230	22,3374	4,0290000000	-76,1680000	1025	IDEAM
12	26115040	24,3739	4,5310000000	-76,0620000	920	IDEAM
13	26125060	21,9919	4,4550000000	-75,7660000	1229	IDEAM
14	26125130	19,0669	4,1850000000	-75,8320000	1692	IDEAM
15	26135100	24,2453	4,8780000000	-75,8780000	970	IDEAM
16	2612700202	23,8867	3,4971436609	-76,3135887	1006	CVC
17	2612700203	24,2141	3,5471385046	-76,3802526	961	CVC
18	2614100202	23,4391	4,0696627878	-76,1840620	1014	CVC
19	2614900201	21,4026	4,5191522435	-75,9167003	1233	CVC
20	2622110201	19,4623	3,3178354597	-76,6371412	1676	CVC
21	2622320201	24,5769	3,3638034930	-76,5302574	970	CVC
22	2622600201	20,7290	3,5674638370	-76,5348786	1500	CVC
23	2623300201	19,7456	3,8758167695	-76,4364353	1700	CVC