



Los aspectos biofísicos de la provincia de Pamplona, Norte de Santander, Colombia

César Villamizar Quiñonez
Giovanni Orlando Cancino Escalante
Susan Elsa Cancino



Los aspectos biofísicos de la
provincia de Pamplona,
Norte de Santander, Colombia

Los aspectos biofisicos de la provincia de Pamplona, Norte de Santander, Colombia

César Villamizar Quiñonez. I.A. MSc.
Giovanni Orlando Cancino Escalante, Ph.D.
Susan Elsa Cancino, MBA



Los aspectos biofísicos de la provincia de Pamplona, Norte de Santander, Colombia / César Villamizar Quiñonez, Giovanni Orlando Cancino Escalante y Susan Elsa Cancino -- Pamplona: Universidad de Pamplona. 2023.
148 p. ; 17 cm x 24 cm.

ISBN (digital): 978-628-7656-29-1

© **Universidad de Pamplona**

Sede Principal Pamplona, Km 1 Vía Bucaramanga-
Ciudad Universitaria. Norte de Santander, Colombia.

www.unipamplona.edu.co

Teléfono: 6075685303

*Los aspectos biofísicos de la provincia de Pamplona,
Norte de Santander, Colombia*

César Villamizar Quiñonez
Giovanni Orlando Cancino Escalante
Susan Elsa Cancino

ISBN (digital): 978-628-7656-29-1
Primera edición, junio de 2024
Colección Biología y Ciencias Naturales
© Sello Editorial Unipamplona

Rector: Ivaldo Torres Chávez Ph.D

Vicerrector de Investigaciones: Aldo Pardo García Ph.D

Jefe Sello Editorial Unipamplona: Caterine Mojica Acevedo

Corrección de estilo: Andrea del Pilar Durán Jaimes

Diseño y diagramación: Laura Angelica Buitrago Quintero

Hecho el depósito que establece la ley. Todos los derechos reservados. Prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio, sin permiso del editor.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Universidad de Pamplona por el apoyo financiero brindado para la realización de este proyecto interno de investigación, titulado “Centro de información tecnológico digital para los sistemas de producción promisorios de la provincia de Pamplona”.

Contenido

Lista de tablas	9
Lista de figuras	10
Introducción	13
El clima	17
La climatología	19
El origen de la climatología	19
El sistema climático	20
El balance de calor en el planeta: calor y temperatura	27
Factores y elementos del clima	28
Factores climatológicos de Colombia	36
Los recursos hídricos	43
Generalidades sobre los recursos hídricos	45
El ciclo hidrológico	46
Cuencas hidrográficas	47
Características físicas de las cuencas hidrográficas	49
Clasificación de las cuencas hidrográficas	50
Los recursos hídricos de Colombia	53
El suelo	59
Factores de formación del suelo	62
Las propiedades macromorfológicas del suelo	64
El perfil del suelo y las propiedades físicas	65
Las propiedades químicas del suelo	67
Las propiedades biológicas del suelo	69
Los tipos de suelo	71
Clasificación de los suelos	76
Clasificación de los suelos según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos	76
Clasificación de los suelos según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)	78
Clasificación de los suelos en Colombia	79

Zonas agroecológicas	83
Zonas de vida de Holdridge	83
Clasificación de las zonas agroecológicas según la FAO	84
Clasificación de zonas agroecológicas en Colombia	85
Análisis y revisión de información secundaria sobre los aspectos biofísicos de la provincia de Pamplona	91
Introducción	93
Contexto general	94
Características del departamento de Norte de Santander	94
Aspectos biofísicos del departamento de Norte de Santander	97
Contexto del sector agropecuario del departamento	100
Contexto de la provincia de Pamplona	101
Metodología	108
Revisión y recopilación de la información	108
Evaluación de la información	109
Presentación de la información	109
Variables asociadas a las características biofísicas	109
Área del estudio	111
Resultado del estudio y análisis de la información	113
Análisis climático de la provincia de Pamplona	113
Recursos hídricos de la provincia de Pamplona	117
Los suelos de la provincia de Pamplona	118
Zona de vida en la provincia de Pamplona	134
Zonas agroecológicas de la provincia de Pamplona	135
Conclusiones	139
Recomendaciones	140
Referencias	141

Índice de tablas

Tabla 1.1.	Precipitación promedia anual, Colombia	40
Tabla 1.2.	Presión atmosférica, Colombia	41
Tabla 3.1.	Zona de vida según Holdridge	84
Tabla 3.2.	Unidades climáticas	86
Tabla 3.3.	Formas del relieve y grados de la pendiente	88
Tabla 3.4.	Zonas de vida o formaciones ecológicas	88
Tabla 4.1	Área rural dispersa con uso agrícola Norte de Santander	101
Tabla 4.2	Población por municipio en la provincia de Pamplona en el 2022	103
Tabla 4.3	Uso de la tierra en la provincia de Pamplona	104
Tabla 4.4	Escala de valores	110
Tabla 4.5	Características generales de los municipios de la provincia de Pamplona	112
Tabla 4.6	Estaciones hidrometereológicas	113
Tabla 4.7	Valores totales de precipitación (mm) para el año 2022	114
Tabla 4.8	Temperatura y piso térmico de la provincia de Pamplona. Características morfométricas e hidrográficas	116
Tabla 4.9	Zona de vida de Holdridge de la provincia de Pamplona	134
Tabla 4.10	Zonas agroecológicas de la provincia de Pamplona	135

Índice de figuras

Figura 1.1	La atmósfera	21
Figura 1.2	La hidrosfera	22
Figura 1.3	La criosfera	23
Figura 1.4	La litosfera	24
Figura 1.5	La biosfera	25
Figura 1.6	Zonas climáticas de Colombia	37
Figura 2.1	Cuenca hidrográfica	48
Figura 2.2	Ubicación y extensión de las áreas hidrográficas colombianas	54
Figura 2.3	Cuenca del río Magdalena	55
Figura 2.4	Cuenca del río Orinoco	56
Figura 2.5.	Cuenca del Pacífico colombiano	57
Figura 2.6	Cuenca del río Amazonas	58
Figura 3.1	Suelo arenoso	71
Figura 3.2	Suelo arcilloso	72
Figura 3.3	Suelo limoso	73
Figura 3.4	Suelo salino	74
Figura 3.5	Suelo ácido	75
Figura 3.6	Suelo alcalino	75
Figura 4.1	Ubicación del departamento en el país	96
Figura 4.2	Subregiones del departamento Norte de Santander	97
Figura 4.3	Distribución de lluvias del departamento	99
Figura 4.4	Provincia de Pamplona	102
Figura 4.5	Vías de la provincia de Pamplona	107
Figura 4.6	Etapas de la investigación	108
Figura 4.7	Valores porcentuales de la distribución del pH en los suelos de la provincia de Pamplona	121
Figura 4.8.	Valores porcentuales de la distribución de la materia orgánica en los suelos de la provincia de Pamplona	122

Figura 4.9	Valores porcentuales de la distribución del contenido de calcio en los suelos de la provincia de Pamplona	124
Figura 4.10	Valores porcentuales de la distribución del contenido de potasio en los suelos de la provincia de Pamplona	126
Figura 4.11	Valores porcentuales de la distribución del contenido de magnesio en los suelos de la provincia de Pamplona ...	127
Figura 4.12	Valores porcentuales de la distribución del contenido de fósforo en los suelos de la provincia de Pamplona	129
Figura 4.13	Valores porcentuales de la distribución del contenido de azufre en los suelos de la provincia de Pamplona	130
Figura 4.14	Valores porcentuales de la distribución del contenido de zinc en los suelos de la provincia de Pamplona	132
Figura 4.15	Valores porcentuales de la distribución del contenido de boro en los suelos de la provincia de Pamplona	133

Introducción

El estudio de los aspectos biofísicos y su relación con los componentes sociales y económicos es fundamental para el desarrollo regional, dado que son interdependientes y se encuentran interrelacionados (Castro, 2021; Aliteri & Nicholls, 2017). De hecho, las condiciones climáticas locales pueden tener efectos significativos en el clima regional y global, mientras que los diversos tipos de suelos y ecosistemas locales influyen en los suelos y ecosistemas regionales. Los recursos hídricos por su parte son fundamentales en el desarrollo económico; por ejemplo, el agua no solo es necesario para el uso antrópico, sino también para impulsar actividades productivas como la agricultura (Kumar, 2021; Andrades & Múñez, 2012).

En este sentido, es indudable que dichos aspectos ejercen una influencia directa sobre el mundo animal, vegetal y mineral. Más bien, el clima puede influir en la distribución geográfica de la flora y fauna, la génesis y erosión de los suelos, condicionar los conglomerados humanos, afectar el desarrollo de las plantas y cultivos, así como impactar la salud humana. Por otro lado, los recursos hídricos son esenciales para regular la temperatura, favorecer la fotosíntesis, sostener la vida y la reproducción de la fauna, así como mantener el equilibrio del ecosistema. En cuanto al suelo; este actúa como sustrato para las plantas y cultivos, regula el ciclo hidrológico, sirve como reservorio y filtro de agua, lo que influye en su accesibilidad para el consumo humano y la agricultura (Brady & Weil, 2017; Rohl & Vega, 2011; Barry & Chorley, 2009).

A su vez, los aspectos biofísicos están igualmente relacionados con las zonas agroecológicas definidas por características específicas, las cuales determinan la vocación de los suelos para la producción agrícola-

la y el tipo de cultivos que se pueden plantar en una determinada región. Es así como la gestión sostenible de los recursos naturales es fundamental para garantizar la productividad y la resiliencia de los sistemas agrícolas a largo plazo. Esto implica la implementación de prácticas agrícolas sostenibles que consideren las características biofísicas de la región, como el uso adecuado del agua, el mantenimiento de la productividad del suelo y la protección de la biodiversidad (Altieri & Nicholls, 2017).

Por lo tanto, el propósito del estudio consistió en recopilar, revisar y analizar información secundaria para identificar los aspectos biofísicos de la provincia de Pamplona, Norte de Santander, Colombia. La finalidad es obtener una comprensión más precisa de las características y peculiaridades de la región, con el fin de tomar decisiones más informadas y acertadas en cuanto a su desarrollo económico, social y territorial.

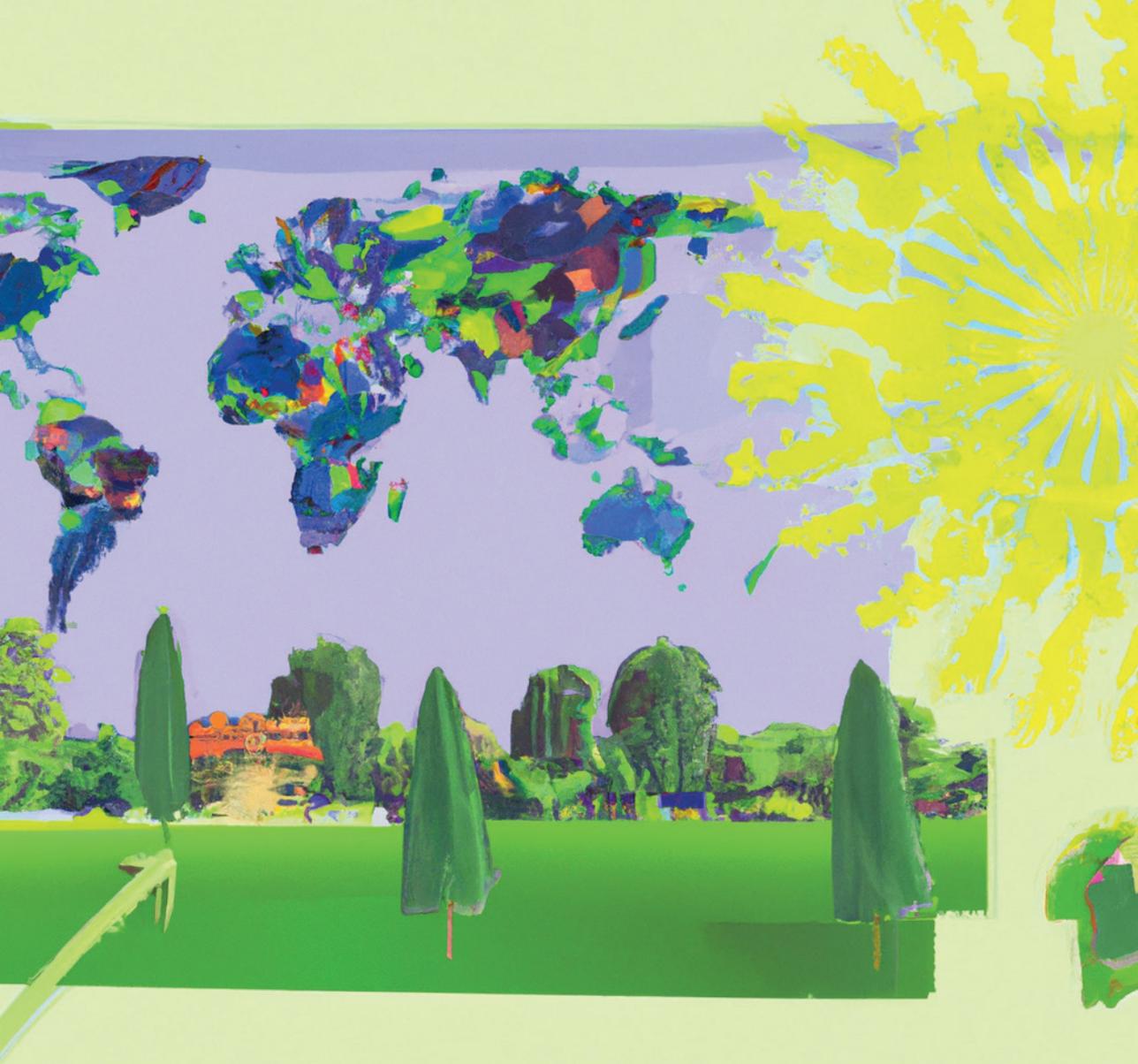
El mismo se basó en la compilación de información secundaria, proveniente de diversas fuentes como libros, artículos académicos, informes gubernamentales y estadísticas oficiales. La principal ventaja de dicha metodología consiste en que permite obtener acceso a una gran cantidad de datos sin incurrir en altos costos. Además, se considera confiable y objetiva, ya que suele estar respaldada por estudios previos y por expertos en la materia.

En este sentido, el libro se estructura en cuatro partes que abordan diferentes aspectos. En el primer capítulo, se exploran los fundamentos teóricos de la climatología; desde su origen hasta los factores climatológicos específicos del país. Este enfoque proporciona una base sólida para comprender el clima y sus efectos en el medio ambiente.

El segundo capítulo se enfoca en los recursos hídricos, que son esenciales para la vida, la sostenibilidad ambiental y económica del país. Se explica el ciclo hidrológico, las cuencas hidrográficas y los recursos hídricos específicos de Colombia.

En el tercer capítulo se aborda la importancia del suelo y sus características, desde los procesos de formación hasta las propiedades macro y micro morfológicas, fisicoquímicas y biológicas, así como los tipos y clasificaciones de suelo. Se examinan las zonas agroecológicas específicas en Colombia que son esenciales para la agricultura y la sostenibilidad ambiental.

Finalmente, en el cuarto capítulo se realiza una revisión de los aspectos biofísicos de la provincia de Pamplona, situada en la subregión sur occidental del departamento Norte de Santander. Se presentan las características generales de esta región incluyendo su ubicación geográfica, tamaño y población. Se describe el clima, la precipitación, la humedad y los recursos hídricos presentes. Además, se detallan las características químicas del suelo, las zonas de vida de Holdridge y las zonas agroecológicas de la región. Todo esto con el propósito de proporcionar información útil que facilite la toma de decisiones informadas en relación con el desarrollo económico, social y territorial de la región.



El clima

La climatología

La climatología es la ciencia que investiga el clima y sus variaciones a lo largo del tiempo en una región específica (Aguado & Burt, 2020). Al estudiar las condiciones climáticas de una zona, es posible identificar patrones extremos que podrían desencadenar fenómenos meteorológicos como huracanes, tifones, inundaciones, sequías, entre otros. Esto permite que los gobiernos y las comunidades tomen medidas preventivas para mitigar el impacto de tales eventos en la población como en el medio ambiente.

Asimismo, el entendimiento de los patrones climáticos desempeña un papel fundamental en la agricultura al ayudar a los agricultores a planificar sus siembras y cosechas de manera eficiente, evitando así pérdidas económicas y garantizando el suministro de alimentos. (Andrades & Muñoz, 2012). Es igualmente relevante en la planificación urbana, permitiendo una toma de decisiones adecuadas y eficientes para la edificación de viviendas, infraestructuras y en la gestión de los recursos naturales (Kumar, 2021).

El origen de la climatología

Su estudio se remonta a la antigua Grecia, donde filósofos como Aristóteles y Teofrasto analizaron los patrones climáticos y las causas de los fenómenos meteorológicos. Durante la Edad Media, el conocimiento de la climatología se mantuvo principalmente en manos de los astrónomos, quienes observaban el cielo y las estrellas para predecir el clima. Fue durante el siglo XVII cuando se comenzaron a desarrollar las primeras teorías científicas. Por ejemplo, el científico francés René Descartes propuso que el calor del sol era la causa principal de los fenómenos climáticos (Aguado & Burt, 2020; Cuadrat & Pita, 2004).

En el siglo XVIII el estudio de la climatología se expandió con la creación de observatorios meteorológicos, los cuales permitieron a los científicos medir y registrar datos climáticos; lo que ayudó a desarrollar nuevas teorías sobre el clima y a mejorar las predicciones meteorológicas. A principios del siglo XIX, el científico alemán Alexander Von Humboldt desarrolló una teoría unificada de la climatología, basada en la idea de que el clima estaba influenciado por factores geográficos como la altitud y la latitud. Esta teoría supuso un gran avance en dicho campo al sentar las bases para el progreso de la meteorología moderna (Aguado & Burt, 2020; Cuadrat & Pita, 2004).

Durante el siglo XX, la climatología emergió como una importante disciplina en la ciencia, llevando a los científicos a investigar los cambios climáticos a lo largo del tiempo. De hecho, el creciente interés en el cambio climático ha enfocado aún más la atención en esta disciplina y la necesidad de comprender mejor la evolución del clima y cómo adaptarnos a estos cambios (Aguado & Burt, 2020; Cuadrat & Pita, 2004).

El sistema climático

El sistema climático se compone de un conjunto de factores e interacciones que determinan las condiciones del clima en la Tierra. Estos componentes incluyen, la biosfera, hidrosfera, la atmósfera, la litosfera y criosfera, que interactúan de manera constante y compleja para generar el clima, así como el tiempo que experimentamos (Andrades & Muñoz, 2012; Rohl & Vega, 2011).

La atmósfera, como se muestra en la Figura 1.1, es una capa de gases que circunda la Tierra y juega un papel clave en el control del clima. Está constituida por una composición de gases incluyendo oxígeno, nitrógeno, vapor de agua, metano, dióxido de carbono y otros gases traza. El dióxido de carbono en particular es un componente importante debido a que es el principal gas de efecto invernadero.

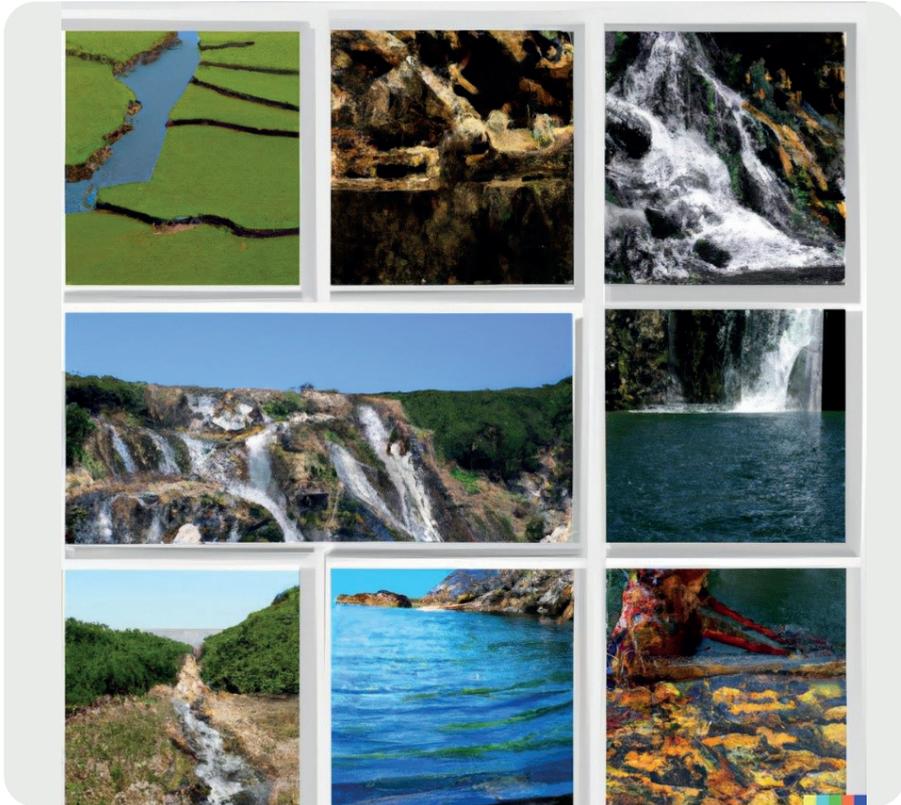
Figura 1.1
La atmósfera.



Fuente: Elaboración propia (2023).

La hidrosfera (Figura 1.2) es uno de los componentes fundamentales del clima y de la vida en nuestro planeta. Se trata del conjunto de todas las aguas presentes en la Tierra incluyendo los océanos, mares, ríos, lagos, glaciares, nieve y agua subterránea.

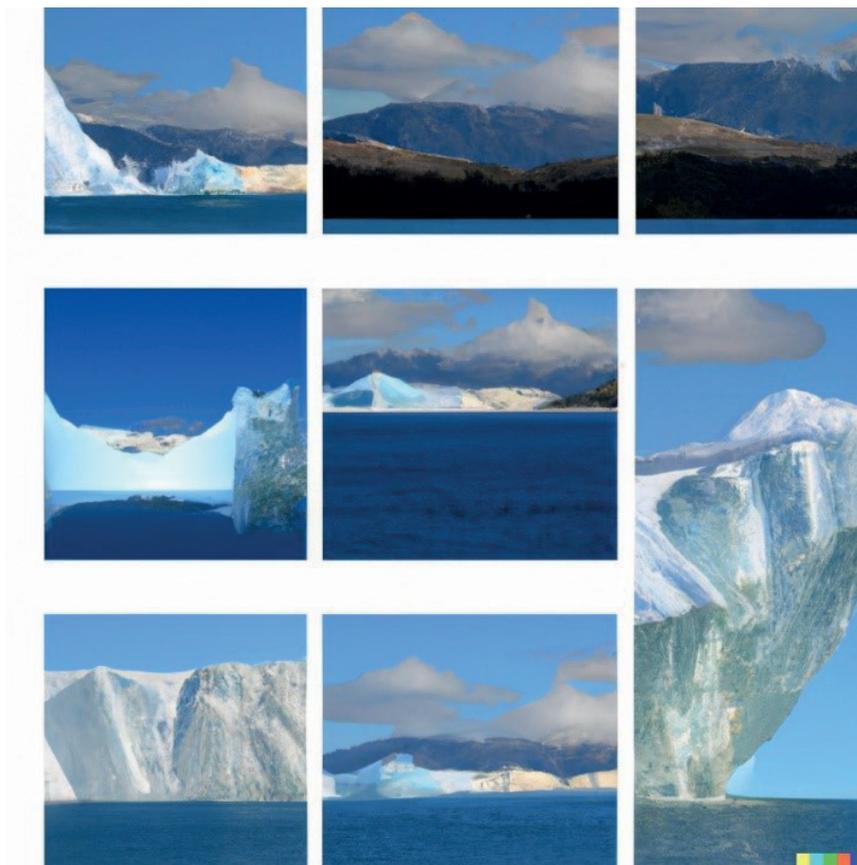
Figura 1.2
La hidrosfera.



Fuente: Elaboración propia (2023).

La criosfera (Figura 1.3) es la parte de la Tierra que está cubierta de nieve y hielo incluyendo los glaciares, casquetes polares, el permafrost y los icebergs. Es importante en el sistema climático porque refleja la luz solar de vuelta al espacio, contribuyendo así a regular la temperatura global.

Figura 1.3
La criosfera.



Fuente: Elaboración propia (2023).

La litosfera constituye la parte sólida de la Tierra, abarcando la corteza terrestre, el manto y el núcleo. Interactúa con la atmósfera y la hidrosfera a través del ciclo del carbono, regulando así la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera y ejerciendo influencia sobre el clima global. En la figura 1.4, los tonos rosados y grises representan el granito, mientras que los tonos oscuros indican basalto y los colores marrones, rojos o amarillos señalan rocas sedimentarias.

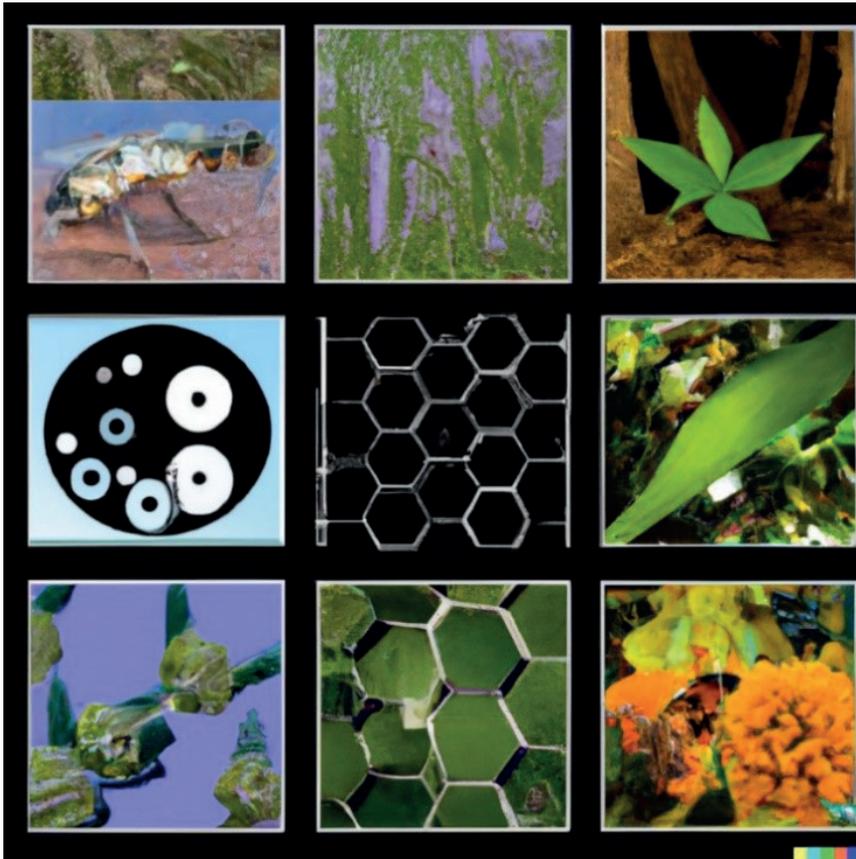
Figura 1.4
La litosfera.



Fuente: Elaboración propia (2023).

La biosfera (Figura 1.5) abarca el área de la Tierra donde prospera la vida, incluyendo plantas, animales y microorganismos. Interactúa con la atmósfera y la hidrosfera a través del ciclo del carbono y del agua, igualmente desempeña un papel crucial en la regulación del clima al absorber y producir gases de efecto invernadero.

Figura 1.5
La biosfera.



Fuente: Elaboración propia (2023).

Todos estos componentes se entrelazan de manera compleja para influir en las condiciones climáticas de la Tierra. Por ejemplo, el calentamiento global es el resultado del aumento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, especialmente dióxido de carbono, los cuales retienen el calor y elevan la temperatura global. Esta acumulación de gases de efecto invernadero es originada por acciones antrópicas como la combustión de combustibles fósiles y la deforestación.

Todos estos elementos interactúan de manera compleja para influir en las condiciones climáticas de la Tierra. Por ejemplo, el calentamiento global es el resultado del aumento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, especialmente el dióxido de carbono que retiene el calor y eleva la temperatura global. Esta acumulación de gases de efecto invernadero es causada por actividades humanas como la combustión de combustibles fósiles y la deforestación. Otro ejemplo es el efecto de El Niño en el clima global, un fenómeno climático que ocurre cuando las aguas cálidas del Pacífico tropical se desplazan hacia el este, impactando el clima mundial. Esto puede causar sequías, inundaciones y cambios en la temperatura global afectando la producción de alimentos, la salud pública y la economía a nivel global.

El balance de calor en el planeta: calor y temperatura

El balance de calor en el planeta es un concepto fundamental para comprender cómo funciona el sistema climático. La temperatura es la medida de la energía cinética media de las moléculas en un material, mientras que el calor es la transferencia de energía entre dos sistemas debido a una diferencia de temperatura. En el caso del planeta Tierra, el balance de calor se refiere a la cuantía de energía que fluye del sistema climático (Barry & Chorley, 2009).

El sol es el primordial recurso de energía para la Tierra. La radiación solar llega a la atmósfera terrestre y se distribuye de manera desigual debido a la forma de la Tierra, su rotación y su inclinación axial. Una parte de la radiación solar se refleja directamente de nuevo al espacio por la atmósfera, las nubes y la superficie terrestre. El albedo es la proporción de radiación solar reflejada por un objeto y puede variar dependiendo de la superficie, por ejemplo, la nieve tiene un albedo alto y refleja la mayor parte de la radiación solar (Andrades & Muñoz, 2012).

Por su parte, la radiación solar que llega a la Tierra y no es reflejada, es absorbida por la superficie terrestre. Esta energía se convierte en calor, y se distribuye a lo largo del planeta. La transferencia de calor ocurre a través de tres procesos principales: convección, conducción y radiación. La convección implica la transferencia de calor mediante el movimiento de fluidos, como el aire y el agua, que se calientan al entrar en contacto con una superficie cálida y ascienden, generando así la circulación de aire y agua caliente en la atmósfera y en los océanos. La conducción se produce cuando el calor se transfiere a través de un material sólido, como el suelo, desde una zona más cálida a una más fría; mediante el contacto directo de las moléculas del material. Por

último, la radiación es la transmisión de energía por medio de ondas electromagnéticas (radiación infrarroja), que viajan por el espacio y llegan a la Tierra, donde son absorbidas por la atmósfera y la superficie terrestre (Andrades & Múñez, 2012).

Ahora bien, la cantidad de energía que entra en la Tierra debe ser equivalente a la cantidad de energía que sale para mantener un balance de calor estable. Si la energía entrante es mayor que la cantidad de energía saliente, el planeta se calentará y viceversa. En el siglo pasado, la acción antrópica ha incrementado sustancialmente la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, lo que ha provocado un desequilibrio en el balance de calor y al calentamiento global (Andrades & Múñez, 2012).

En efecto, la temperatura promedio de la Tierra ha aumentado aproximadamente 1°C desde la era preindustrial y se espera que continúe aumentando en el futuro. Este incremento tiene graves consecuencias, como el aumento del nivel del mar, la acidificación de los océanos y la amenaza de extinción de muchas especies. Por lo tanto, es fundamental disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero e implementar procesos que promuevan una economía baja en carbono (Barry & Chorley, 2009).

Factores y elementos del clima

El clima es una de las características más importantes y relevantes de la naturaleza, ya que impacta significativamente la vida en la Tierra en múltiples aspectos. Sus factores y elementos, aunque diferentes, están interrelacionados. Los factores son elementos geográficos y físicos que influyen en la formación y el comportamiento del clima, mientras que los elementos son aquellos que se miden y describen para conocer las condiciones climáticas en un momento determinado (Rohl & Vega, 2009).

Para comprender el clima de una región particular, es esencial conocer

los diversos factores y elementos que lo conforman. Entre estos, se pueden mencionar la latitud, la altitud, la distancia al mar, las corrientes oceánicas, la temperatura, la presión atmosférica, así como la humedad y el viento, entre otros. Todos estos factores y elementos interactúan de manera compleja y dinámica para determinar el clima en un lugar específico. Es así como a continuación se especifican los factores y elementos básicos del clima (Rohl & Vega, 2009).

Factores del clima

Latitud

Se define como la distancia angular de una ubicación con respecto al ecuador terrestre. Esta medida determina la cantidad de radiación solar que recibe una zona geográfica en particular, ya que las regiones cercanas al ecuador reciben más radiación solar que las zonas próximas a los polos. Esta diferencia se debe a la forma esférica de la Tierra y a la inclinación de su eje. A medida que nos alejamos del ecuador, la latitud aumenta y el rigor de la radiación solar reduce, lo que se traduce en temperaturas más frías.

Altitud

La altitud es igualmente relevante en la determinación del clima de una región, ya que hace referencia a la elevación de un lugar sobre el nivel del mar. A medida que se asciende en altitud, se produce una reducción en la temperatura ambiente. Esta relación se debe a que la presión atmosférica disminuye a medida que se gana altura, lo que tiene un efecto directo en la temperatura. En consecuencia, las zonas de mayor altitud tienden a presentar temperaturas más bajas que las regiones de menor altitud. Este fenómeno es particularmente relevante en la proyección y desarrollo de actividades en zonas montañosas, como la agrícola, el turismo y la construcción, donde la altitud puede tener un impacto significativo en las condiciones climáticas y, por lo tanto, en la viabilidad de dichas actividades.

Distancia al mar

Las zonas costeras se caracterizan por presentar temperaturas más suaves y una mayor humedad relativa del aire en comparación con las regiones interiores. Esto se debe a que el mar actúa como un regulador térmico natural, absorbiendo y liberando calor de manera gradual, lo que reduce la amplitud térmica diaria y anual en las zonas costeras. Además, la presencia del mar favorece la generación de nubes y la precipitación, lo que contribuye a aumentar la humedad relativa del aire en dichas regiones. Por otro lado, en las regiones interiores, donde la influencia del mar es menor, los veranos son más ardientes y amplios y los inviernos más fríos y secos en comparación con las zonas costeras, con una menor humedad relativa del aire.

Corrientes oceánicas

Las corrientes oceánicas transportan grandes volúmenes de agua a través de los océanos, lo que puede influir significativamente en la temperatura y la humedad de las regiones costeras cercanas. Por ejemplo, la Corriente del Golfo es una corriente oceánica cálida que fluye desde el Golfo de México hacia el noreste, transportando agua cálida a lo largo de la costa este de los Estados Unidos. Esta corriente tiene un efecto beneficioso sobre el clima de la región, contribuyendo a temperaturas más suaves e incrementando la humedad relativa del aire en comparación con las regiones cercanas que no están influenciadas por la corriente. Por otro lado, las corrientes frías pueden tener un efecto opuesto enfriando el aire y reduciendo la humedad relativa.

Elementos del clima

Temperatura

La temperatura es uno de los elementos clave del clima y se define como la medida de la energía térmica en una sustancia o sistema. Es uno de los principales factores que determinan la distribución de la vegetación, la fauna y los patrones climáticos en todo el mundo. En el contexto del clima se destaca la temperatura del aire, del suelo, del agua y de la superficie terrestre.

En cuanto a la temperatura del aire esta se refiere a la medida de la energía térmica en la atmósfera siendo un factor clave para entender el clima, ya que puede influir en la formación de fenómenos meteorológicos como vientos, tormentas y nubes. Por su parte, la temperatura del suelo es una variable climática que indica la cantidad de energía térmica presente en la capa superficial del suelo. Esta medida varía según diversos factores como la hora del día, el período del año y la localización geográfica. Por ello, la temperatura del suelo puede afectar a varios aspectos climáticos como el crecimiento de la vegetación, la evaporación del agua y la interrelaciones planta-microorganismos-suelo.

La temperatura del agua se refiere a la medida de la energía térmica en el agua, la cual puede variar según la profundidad, la latitud, la estación del año y otros factores mientras que la temperatura de la superficie terrestre corresponde a la medida de la energía térmica en la capa superior de la tierra. En términos generales, la temperatura afecta diversos aspectos como el acceso al recurso hídrico y nutrientes para las plantas, la actividad de los organismos del suelo, la formación de corrientes oceánicas y de nubes, la evaporación de agua, la radiación solar reflejada, la migración de animales acuáticos y la actividad de las algas y otras plantas acuáticas.

Humedad

La humedad del aire es un factor importante que influye en la sensación térmica, la formación de precipitaciones y la salud humana. Se define como la cantidad de vapor de agua presente en el aire y se mide en porcentaje de humedad relativa, variando según temperatura y la presión atmosférica.

La humedad del aire varía a lo largo del día y del año, así como de acuerdo con la ubicación geográfica y es, en términos generales, más alta en zonas tropicales y cerca de cuerpos de agua y menor en zonas áridas y desérticas. En cuanto a la variación anual suele ser más elevada durante el periodo de verano y más baja durante los meses de invierno en zonas templadas, mientras que, en zonas tropicales puede ser alta durante todo el año, con una ligera disminución durante los meses de invierno.

La humedad del aire varía a lo largo del día, del año y según la ubicación geográfica. Generalmente, es más alta en zonas tropicales y cerca de cuerpos de agua y menor en zonas áridas y desérticas. En cuanto a la variación anual, suele ser más elevada durante el verano y más baja durante el invierno en zonas templadas. En zonas tropicales puede mantenerse alta durante todo el año, con una ligera disminución en los meses de invierno.

Por otro lado, en zonas desérticas la humedad del aire suele mantenerse baja durante todo el año. Además, en términos de variación zonal, es común que disminuya a medida que nos alejamos del ecuador hacia los polos. Esto se debe a que el aire caliente y húmedo tiende a ascender en el ecuador; lo que provoca la formación de zonas de baja presión y la entrada de aire fresco y seco desde zonas de alta presión en las regiones polares.

Precipitación

La precipitación se refiere a la caída de agua líquida o sólida desde la atmósfera a la superficie terrestre. Los hidrometeoros son partículas de

agua que forman las nubes y la precipitación; se clasifican en líquidos (gotas de agua) y sólidos (cristales de hielo). Se produce cuando las gotas de agua o los cristales de hielo en las nubes se vuelven demasiado pesados para mantenerse en suspensión y caen al suelo. Los tipos de nubes que pueden producir precipitación son las estratiformes y las convectivas.

Las precipitaciones se clasifican según su origen en convectivas y frontales. Las precipitaciones convectivas son causadas por el calentamiento solar que provoca el ascenso del aire caliente y la generación de nubes de gran desarrollo vertical, las cuales pueden generar lluvias intensas, tormentas eléctricas y granizo. Por otro lado, las precipitaciones frontales se deben a la colisión de masas de aire de diferentes temperaturas y humedades, lo que puede generar lluvias más suaves y constantes.

La distribución geográfica de la precipitación sobre la superficie terrestre es cambiante y está sujeta a factores como la latitud, la orografía, la temperatura y la humedad. En general, las zonas ecuatoriales y tropicales son las más lluviosas, mientras que las zonas áridas y desérticas son las más secas. Igualmente existen áreas con precipitaciones estacionales, como las zonas templadas y subtropicales. Es importante tener en cuenta que la precipitación es un factor clave para el progreso de la vida en la Tierra, ya que permite la existencia de cuerpos de agua dulce, la agricultura y la generación de energía hidroeléctrica. Por esta razón, la distribución y la cantidad de precipitación son aspectos fundamentales que considerar en el estudio del clima.

Presión atmosférica

La presión atmosférica se entiende como la fuerza que genera la atmósfera sobre la superficie terrestre, la cual varía en el tiempo, así como en el espacio debido a factores como la humedad, la temperatura y la altitud. La oscilación diaria de la presión se debe principalmente a las variaciones de la temperatura y la humedad, mientras que la diversificación anual está relacionada con la inclinación del eje de la Tierra y la

posición de los sistemas meteorológicos. Es una variable importante en el estudio del clima ya que puede influir en la formación de sistemas meteorológicos como ciclones, anticiclones y frentes.

Viento

El viento es el movimiento horizontal del aire en la atmósfera terrestre. La energía necesaria para la generación del viento proviene principalmente de la radiación solar, la cual calienta de manera desigual la superficie terrestre. Las diferencias en la temperatura de la superficie terrestre crean gradientes de presión, lo que genera movimientos verticales del aire y, a su vez, vientos horizontales.

La rotación terrestre y la fricción son dos factores que influyen en la dirección, así como en la velocidad del viento. La rotación terrestre produce una desviación hacia la derecha en el hemisferio norte y a la izquierda en el hemisferio sur, lo que da lugar a los llamados vientos geostróficos. La fricción, por otro lado, reduce la velocidad del viento y cambia el rumbo hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur. Estas desviaciones se conocen como efecto coriolis y efecto de fricción.

Los vientos están estrechamente relacionados con los centros ciclónicos y anticiclónicos. Los centros ciclónicos son áreas de baja presión atmosférica donde el aire se mueve en dirección inversa al movimiento horario del reloj en el hemisferio norte y en sentido del movimiento horario del reloj en el hemisferio sur, mientras que los centros anticiclónicos son áreas de alta presión atmosférica donde el aire se mueve en sentido contrario a los centros ciclónicos.

La circulación general de la atmósfera se refiere a la distribución de los vientos a gran escala alrededor del mundo. Esta circulación es impulsada por las diferencias de temperatura y presión en la superficie terrestre y está compuesta por tres células de circulación: la célula de Hadley, de Ferrel y la Polar. Además de la circulación general de la atmósfera, existen circulaciones especiales que se presentan en diferentes épocas del año o en regiones específicas. Por ejemplo, el monzón es un viento

temporal que se produce en los continentes de Asia y África durante el verano, está caracterizado por vientos húmedos y lluviosos en una dirección y vientos secos y frescos en la dirección opuesta. Asimismo, existen vientos locales como los vientos alisios, que se producen en las regiones ecuatoriales y son impulsados por la diferencia de temperatura entre el océano y la tierra.

Por su parte, las masas de aire son grandes porciones de la atmósfera que tienen características uniformes de temperatura y humedad. Se forman sobre áreas extensas de la superficie terrestre; se caracterizan por su origen, temperatura, humedad, estabilidad y pueden ser continentales, marítimas polares y tropicales. La evolución de una masa de aire depende de su interacción con la superficie terrestre y con otras masas de aire. Al moverse sobre la superficie terrestre, una masa de aire puede cambiar su temperatura y humedad debido a la transferencia de calor y humedad.

Nubosidad

La nubosidad, medida en octavos de cielo cubierto, es un importante factor climático. La presencia de nubes puede influir en la temperatura al reflejar o absorber la radiación solar. Asimismo, la nubosidad puede ser indicativa de patrones climáticos como la presencia de frentes atmosféricos y tormentas.

Factores climatológicos de Colombia

El clima en Colombia es extremadamente diverso debido a una combinación de factores geográficos y ambientales. A pesar de que el país se encuentra cercano al ecuador, la presencia de la cordillera de los Andes, su ubicación en la zona intertropical y la influencia de los océanos Atlántico y Pacífico generan una amplia variedad de climas regionales (Figura 1.6).

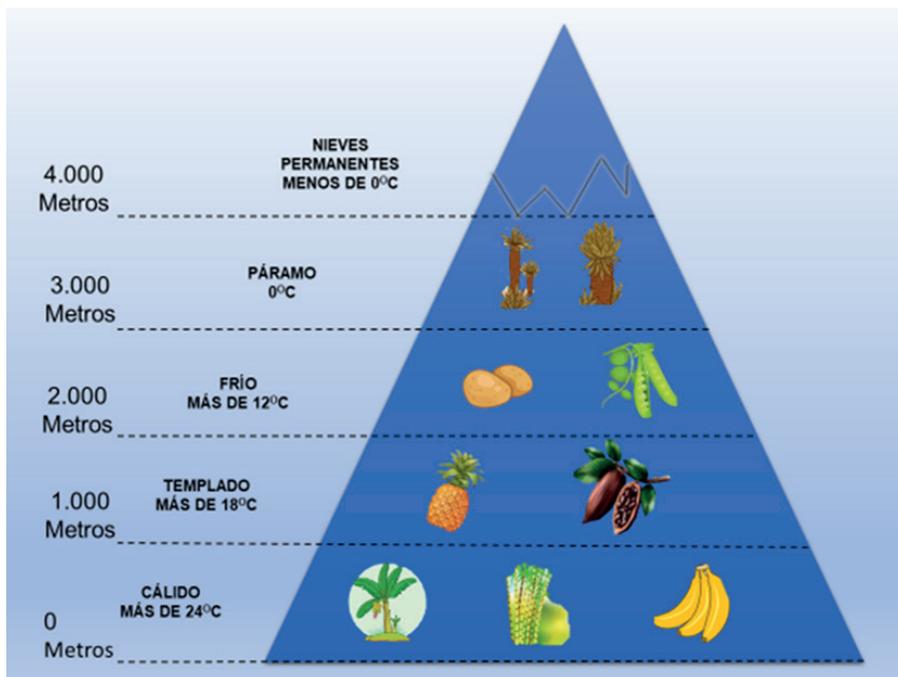
Temperatura

El país se divide en cinco zonas climáticas principales (Figura 1.6), que van desde las regiones cálidas y húmedas de la costa hasta los glaciares de la zona de nieves perpetuas en las montañas más altas de la cordillera de los Andes. La zona cálida, situada en la costa del Caribe, es una región tropical con temperaturas promedio que oscilan entre 24°C y 27°C. Las lluvias son abundantes, con una estación seca relativamente corta. La región del Pacífico, por otro lado, posee un clima cálido y lluvioso durante todo el año, ocasionado por la influencia de la corriente fría de Humboldt y la temperatura promedio oscila entre 25°C y 28°C (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia - IDEAM, 2022).

La zona templada se encuentra en las laderas de las montañas y en algunos valles interandinos, con temperaturas que oscilan entre los 18°C y 24°C y una precipitación moderada. Por su parte, la zona fría corresponde a la región andina alta, ubicada a altitudes entre los 2.000 y 3.000 sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), con temperaturas promedio de 12°C. Esta zona se caracteriza por la presencia de bosques de niebla y páramos y es de gran importancia para la producción agrícola, especialmente de frutas y verduras (IDEAM, 2022).

Igualmente, se encuentra el piso de páramo, ubicado en altitudes superiores a los 3.000 m.s.n.m., donde las temperaturas son frías, con un promedio de 6°C, y una alta humedad. El páramo alberga plantas y animales únicos, como la espeletia (frailejones), una especie de planta que solo se encuentra en los Andes. Finalmente, en altitudes superiores a los 4.000 m.s.n.m se encuentra la zona de nieves perpetuas, con temperaturas promedio bajo cero (IDEAM, 2022).

Figura 1.6
Zonas climáticas de Colombia.



Fuente: Elaboración propia (2023).

Humedad

La humedad en Colombia varía significativamente de una región a otra dependiendo de factores como la posición geográfica, la altitud, la topografía y los patrones de viento. En general, es un país con altos

niveles de humedad debido a su ubicación cerca del ecuador y a la gran variedad de ecosistemas, desde las zonas de selva tropical hasta las regiones montañosas y desérticas.

En la región Caribe, específicamente en la alta y media Guajira, la humedad presenta un patrón bimodal a lo largo del año, caracterizado por una época principal de baja humedad en los meses de junio, julio y agosto, seguida de un segundo mínimo en enero y febrero. Durante estos meses, los valores de humedad varían entre el 60% y el 70%. Por otro lado, entre octubre y noviembre se registra la época de lluvias más intensas, donde los valores promedio de humedad pueden superar el 80% (IDEAM, 2022).

En la franja costera y en el resto de la región, la variación anual de la humedad es en general monomodal. Los valores mínimos de humedad se registran durante el primer trimestre del año y luego aumentan gradualmente hasta alcanzar un máximo entre los meses de octubre y noviembre, para la segunda temporada de lluvias. Sin embargo, en algunas regiones -especialmente en el interior- se presenta un ligero descenso en los valores medios de humedad durante julio y agosto. Los valores mensuales de humedad en esta región pueden oscilar entre el 65% y el 85% a lo largo del año (IDEAM, 2022).

A su vez en la mayoría de la región Andina, la humedad sigue un patrón bimodal a lo largo del año, con una diferencia de 10 a 15% entre el mes más húmedo y el más seco. En general, los periodos de menor humedad son los meses de julio y agosto, aunque en algunas zonas como los Santanderes y el altiplano cundiboyacense, los valores más bajos pueden ocurrir en enero y febrero. Por otro lado, el periodo de máxima humedad corresponde a los meses de la segunda temporada lluviosa que se presenta en cerca de toda la región (IDEAM, 2022).

En la región de Orinoquia, el patrón anual de humedad es de tipo monomodal, con los valores medios más bajos registrados entre los meses de enero y marzo, coincidiendo con una prolongada sequía estacional. Estos valores oscilan entre el 60% y el 65%. Posteriormente, se

produce un marcado aumento entre abril y mayo alcanzando sus valores máximos en junio y julio. A partir de agosto, se inicia una reducción gradual que continúa hasta diciembre, cuando se produce la transición a valores bajos (IDEAM, 2022).

En la mayor parte de la región Amazónica, la humedad se sitúa en valores próximos a la saturación ($> 85\%$) durante gran parte del año, lo que resulta en una amplitud intermensual menor en relación con otras regiones del país, como el Caribe y la Andina. Sin embargo, en la zona céntrica de la región se observa una disminución de la humedad durante el periodo intermedio del año, como resultado de la reducción de las lluvias que usualmente se registran durante esta época. En el piedemonte, la humedad muestra una mayor variabilidad durante el año, oscilando entre un valor mínimo del 75% en los meses de enero-febrero y un valor máximo del 85% durante el periodo junio-julio (IDEAM, 2022).

En la región del Pacífico, la humedad al igual que en la Amazonía, permanece en niveles elevados durante todo el año con valores medios superiores al 85% . Aunque no hay una variación estacional significativa, se observa una tendencia hacia valores ligeramente más altos hacia finales del año (IDEAM, 2022).

Precipitación

En cuanto a la precipitación en Colombia, esta es generada por varios factores entre los que se enfatizan el régimen de los vientos alisios, la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), las corrientes marinas, la topografía y la latitud.

En cuanto a la precipitación en Colombia, esta es generada por varios factores entre los que se enfatizan el régimen de los vientos alisios, la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), las corrientes marinas, la topografía y la latitud. La mayor parte del país se encuentra en la zona intertropical, lo que hace que gran parte del territorio experimente un

régimen bimodal de precipitación, con dos períodos lluviosos y dos períodos secos al año. El primer período lluvioso comienza en marzo y se extiende hasta junio, mientras que el segundo período lluvioso ocurre de septiembre a diciembre. Los períodos secos son de diciembre a marzo y de julio a agosto. En las regiones cercanas a los extremos de la costa Pacífica y Atlántica, el régimen de precipitación puede ser más uniforme a lo largo del año (IDEAM, 2022).

Además de la ZCIT, los sistemas meteorológicos más importantes que afectan la precipitación en Colombia son la alta presión del Atlántico, la baja presión del Pacífico y el paso de los sistemas frontales. Estos sistemas pueden originar condiciones de lluvia intensa como los eventos de La Niña. La topografía también es un elemento significativo en la distribución de la precipitación en Colombia. Los sistemas montañosos de los Andes dividen el país en tres cordilleras: la Oriental, Central y Occidental. Estas cordilleras actúan como barreras naturales para las masas de aire húmedo, lo que provoca la formación de diferentes microclimas en cada una de las regiones del país (IDEAM, 2022).

En la Tabla 1.1 se encuentra la precipitación promedio anual de Colombia, sin embargo, cabe destacar que estos valores son aproximados y pueden variar según el año y las condiciones climáticas específicas de cada región. En este sentido, las áreas de menor precipitación se encuentran en las regiones del caribe e insular, mientras que, en la costa Pacífica la precipitación anual promedio es de alrededor de 6.000 mm, constituyéndola en una zona altamente húmeda.

Tabla 1.1
Precipitación promedio anual, Colombia.

Región	Precipitación promedio anual (mm)
Amazonía	4.000-5.000
Pacífico	6.000-10.000
Andina	1.000-3.000
Caribe	500-1.000
Orinoquía	1.000-2.000
Región Insular	1.000-2.000

Fuente: IDEAM (2022).

Presión atmosférica

La presión atmosférica en Colombia varía de acuerdo con la ubicación geográfica del país y a la época del año. En las zonas montañosas como en los Andes, la presión atmosférica es menor debido a la altitud; por su parte, en la región del Caribe, por ejemplo, la presión atmosférica es más baja debido a la mayor presencia de aire cálido y húmedo en la atmósfera. Durante la época de lluvias tiende a disminuir debido a la mayor cantidad de humedad, lo que contribuye a la formación de nubes y precipitaciones. En cambio, durante la época seca, la presión atmosférica tiende a ser más alta debido a la menor cantidad de humedad presente en la atmósfera (IDEAM, 2022).

En la Tabla 1.2 se presenta la presión atmosférica de algunas ciudades del país. Como lo mencionado anteriormente, la misma puede variar de acuerdo con la época del año y de las circunstancias climáticas locales. Los valores presentados son aproximados y es importante mencionar que la presión atmosférica se expresa en unidades de hectopascales (hPa) o milibares (mb), y que una presión atmosférica de 1013 hPa se considera como la presión estándar al nivel del mar.

Tabla 1.2
Presión atmosférica, Colombia

Zona geográfica	Altitud (m.s.n.m.)	Presión Atmosférica (hPA)
Pamplona	2.200	1.010
Bogotá	2.641	761
Medellín	1.500	853
Cali	1.000	905
Barranquilla	3	1.012
Cartagena	2	1.012
Leticia	82	1.009
San Andrés	1	1.012

Fuente: IDEAM (2022).

Vientos

La posición geográfica de Colombia, su topografía y los sistemas de alta y baja presión son factores determinantes en la dirección y la intensidad de los vientos en el país. Dado que se encuentra cerca del ecuador y tiene una amplia diversidad de paisajes, desde la costa caribeña hasta la cordillera de los Andes, la dirección y la intensidad del viento varían significativamente de una región a otra.

En la costa caribeña, por ejemplo, el viento predominante es el Alisio que sopla desde el este y sureste y transporta humedad desde el océano Atlántico. Por su parte, en la región Andina, la dirección del viento varía dependiendo de la ubicación geográfica y la altitud. Ahora bien, en las zonas bajas y cálidas, el viento sopla del norte transportando humedad del Caribe y generando lluvias en las estribaciones orientales de los Andes. Por su parte, en las zonas altas y frías, el viento predominante es el suroccidental que trae aire frío y seco desde el Pacífico, generando una estación seca prolongada conocida como "Veranillo de San Juan" durante junio y julio (IDEAM, 2022).

En la región del Pacífico, el viento predominante es el suroriental que sopla desde el este y sureste y transporta humedad desde la Amazonía. Este viento genera una alta precipitación en la región, caracterizándola como una de las áreas más lluviosas a nivel mundial. Además, la región del Pacífico también es afectada por los vientos alisios del Pacífico, que pueden causar sequías durante la época seca (IDEAM, 2022).

En la región de la Orinoquía, el viento predominante es el Alisio del noreste, que sopla desde el Atlántico y transporta humedad. Sin embargo, la región es generalmente seca debido a su ubicación en la zona de convergencia intertropical (IDEAM, 2022).

En la región Amazónica, el viento es influenciado por el paso de sistemas de alta y baja presión, lo que causa una gran variación en la dirección y la intensidad del viento. Durante la época seca, los vientos predominantes son los del este y noreste, mientras que, durante la época húmeda, los vientos predominantes son del suroeste y oeste (IDEAM, 2022).

Los recursos hídricos

Los recursos hídricos

Generalidades sobre los recursos hídricos

Los recursos hídricos son el conjunto de fuentes de agua, ya sean superficiales o subterráneas, que se encuentran en el planeta y que son utilizados por la humanidad para satisfacer diferentes necesidades. En este sentido, comprende toda el agua disponible en la Tierra ya sea en forma líquida, sólida (hielo y nieve) o gaseosa (vapor de agua en la atmósfera). Esto incluye el recurso hídrico de los ríos, lagos, embalses, acuíferos subterráneos, glaciares y nieve en las montañas, así como el agua en la atmósfera. Más bien es uno de los recursos renovables más significativos siendo esencial para la existencia humana, así como de los ecosistemas en general (Zabala, 2019).

En efecto, su uso se da en diferentes ámbitos de la vida, desde la agricultura hasta la industria, la generación de energía eléctrica, el turismo y el consumo doméstico. Sin embargo, el cambio climático ha impactado negativamente la disponibilidad y calidad del agua en diversas regiones del mundo. El creciente aumento de la temperatura global y las variaciones en los patrones de lluvia están alterando el ciclo hidrológico y la distribución de agua en el planeta. A esto se suma la contaminación del agua y la explotación excesiva de los acuíferos, lo que ha traído como consecuencia una mengua en la cantidad, así como en la calidad de agua disponible (Silva et al. 2021; López-Vera, 2005).

Para hacer frente a estos desafíos, algunos países han implementado diversas medidas para proporcionar el acceso al agua y mejorar la gestión del recurso hídrico. Entre estos se incluye la promoción de prácticas sostenibles en el Para hacer frente a estos desafíos, algunos países han implementado diversas medidas para proporcionar el acceso al agua y mejorar la gestión del recurso hídrico. Entre estos se incluye

la promoción de prácticas sostenibles en el uso del agua, inversión en infraestructuras de agua y saneamiento y el fomento de la cooperación entre países para gestionar los recursos hídricos compartidos. Por ello, garantizar el acceso al agua no solo es esencial para el bienestar humano sino también para el amortiguamiento del cambio climático y el desarrollo sostenible (Zabala, 2019; Ruiz & Rodríguez, 2017).

El ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es un proceso clave para la supervivencia y el progreso de los ecosistemas y las sociedades. Es el mecanismo natural que regula el movimiento y la distribución del agua en la Tierra, desde la evaporación y transpiración en la superficie terrestre hasta la precipitación y el flujo de agua en ríos y océanos. Además, el ciclo hidrológico tiene un efecto directo en la calidad y disponibilidad del agua, la erosión del suelo y la producción de energía hidroeléctrica. Por consiguiente, comprender su proceso es esencial para una gestión efectiva y sostenible de los recursos hídricos y la atenuación de las afectaciones del cambio climático.

Es así como el ciclo hidrológico se inicia con la evaporación, que es el mecanismo mediante el cual los cuerpos de agua como océanos, ríos, lagos, suelos se evaporan y se convierten en vapor de agua ascendiendo a la atmósfera y condensándose en nubes. La precipitación ocurre cuando las gotas de agua en las nubes se unen para formar gotas más grandes que caen al suelo en forma de lluvia, granizo o nieve. La cantidad varía según la región, el clima y las estaciones, sin embargo, el agua que no se evapora ni se infiltra en el suelo; fluye hacia los cuerpos de agua, como ríos, lagos, y océanos en un proceso conocido como escorrentía. Durante esta etapa, se recargan los acuíferos subterráneos que son las capas de roca y sedimento porosos (López-Vera, 2005).

Finalmente, está la transpiración que es similar a la evaporación, pero se refiere al agua que se evapora de las plantas. Durante la transpiración, las plantas absorben agua del suelo a través de sus raíces y liberan vapor de agua a través de sus hojas. Este vapor se une al vapor de agua generado por la evaporación y contribuye a la formación de nubes

(López-Vera, 2005).

Cuencas hidrográficas

Frecuentemente se produce cierta confusión en cuanto a los términos "Cuenca hidrológica" y "Cuenca hidrográfica". Para aclarar, se coincide con la definición establecida por Vásconez et al. (2019), quienes afirman que una cuenca hidrográfica es un área geográfica definida por una divisoria de aguas, es decir, una línea imaginaria que separa el agua que fluye hacia diferentes cuerpos de agua como ríos, arroyos y lagos, mientras que una cuenca hidrológica incluye no solo el agua superficial sino también el agua subterránea que corre a través del suelo y de las rocas del subsuelo (Figura 2.1).

En términos simples, una cuenca es un área geográfica delimitada por separadores de agua donde se lleva a cabo el ciclo hidrológico. Esta área funciona como un volumen de control que admite medir la cantidad de agua que entra a través de la precipitación y determinar cuánta se evapora, infiltra o fluye superficialmente. Los flujos de agua en la cuenca son dinámicos ya que las aguas de los valles confluentes se reúnen y forman arroyos y ríos que posteriormente, desembocan en el mar. Los flujos superficiales, subterráneos y subsuperficiales que integran la escorrentía alimentan los diferentes almacenamientos y contribuyen a la formación de los cauces de las corrientes (IDEAM, 2019 & 2013; Zabala, 2019).

Figura 2.1
Cuenca Hidrográfica.



Fuente: Elaboración propia (2023).

Ahora bien, las cuencas hidrográficas son importantes porque desempeñan múltiples funciones en el equilibrio ecológico del planeta y en la existencia de la especie humana. Una de las funciones más importantes es la regulación del ciclo hidrológico ya que actúan como colectores y distribuidores de agua. Además, ayudan a preservar la disposición del agua y del suelo gracias a que retienen y filtran partículas sólidas, proporcionan hábitat, así como alimento para la fauna y flora silvestre; actúan como amortiguadores naturales contra las inundaciones y la

erosión, de igual forma son un punto clave, en la mitigación del cambio climático (Zabala, 2019; Hernández-Arrázola, Landero-Madera & Rodríguez-Miranda, 2018).

Características físicas de las cuencas hidrográficas

En relación con las cuencas hidrográficas, estas son diversas y fundamentales para comprender su funcionamiento y su importancia para la gestión de los recursos hídricos. Entre las características más importantes se encuentra el área de drenaje el cual se refiere a la superficie total que contribuye a la formación de la cuenca hidrográfica siendo este un factor determinante en la cantidad de agua que se puede almacenar y en la cuantía de agua que fluye a través de ella. Por su parte, la forma de la cuenca hidrográfica es igualmente relevante ya que influye en la velocidad y cantidad de agua que se desplaza a través de esta. Cuanto más redonda sea la cuenca, menor será el tiempo de concentración del agua, lo que se traduce en un mayor flujo de agua (Vásconez et al., 2019; Hernández-Arrázola, Landero-Madera & Rodríguez-Miranda, 2018).

El sistema de drenaje por su parte se refiere al conjunto de corrientes de agua que confluyen y desembocan en un punto común, definiendo la trayectoria del flujo del agua y su acumulación en la cuenca hidrográfica. Por otro lado, el grado de ramificación indica la cantidad de arroyos y ríos que contribuyen a su sistema de drenaje. A mayor grado de ramificación, mayor será la cantidad de agua que fluye a través de la cuenca. La densidad de drenaje es un indicador relevante para evaluar la cantidad de agua que fluye en la cuenca hidrográfica (Vásconez et al., 2019; Hernández-Arrázola, Landero-Madera & Rodríguez-Miranda, 2018).

El relieve, el tipo, así como el uso del suelo, son igualmente factores determinantes ya que influyen en la forma en que se acumula y fluye el agua, es decir, cuanto más accidentado sea el relieve mayor será la velocidad del agua y el riesgo de erosión, así como en el aforo de retención y almacenamiento del agua. Por ejemplo, un suelo con un alto

aforo de retención de agua como un suelo arcilloso, permitirá una mayor infiltración del agua y una menor erosión. Por último, la vegetación de la cuenca hidrográfica también es relevante ya que ejerce influencia sobre la cuantía de agua que se evapora y en la retención del suelo. Una vegetación densa y diversa, como un bosque, retiene mejor el agua y mitiga la erosión del suelo (Vásconez et al., 2019).

Clasificación de las cuencas hidrográficas

Las cuencas hidrográficas se clasifican según diversos criterios como: tamaño, el sitio de embocadura y por su uso como especificado a continuación.

Según su tamaño

Las cuencas hidrográficas pueden ser clasificadas en base a su tamaño. En general, se utilizan los siguientes términos para clasificarlas (Vásconez et al., 2019):

- **Microcuencas.** Área de drenaje menor a 10 Km².
El agua que fluye a través de ella es limitada y puede ser influenciada por factores ambientales y climáticos locales. Asimismo, responde rápidamente a las precipitaciones y otros eventos climáticos. Generalmente, posee un sistema de drenaje simple que consiste en un solo arroyo o río principal y sus afluentes.
- **Pequeñas cuencas.** Área de drenaje entre 10 y 100 Km².
Suelen tener un relieve relativamente simple con pendientes moderadas y pocas elevaciones pronunciadas, esto se debe a que la erosión no ha tenido tanto tiempo para moldear el terreno, en comparación con las cuencas más grande. La densidad de drenaje es alta lo cual significa que hay muchos ríos y arroyos confluyendo en el sistema de drenaje, lo que aumenta el aforo de agua que fluye a través de la cuenca.

- **Medianas cuencas.** Área de drenaje entre 100 y 1.000 Km². Albergan una mayor cantidad de población y actividades humanas; lo que puede tener un efecto revelador en la calidad del agua, así como en los ecosistemas acuáticos. Asimismo, contienen una variedad de ecosistemas, desde bosques y praderas hasta tierras de cultivo y áreas urbanas. Esta diversidad de ecosistemas puede proporcionar una amplia gama de servicios ecosistémicos como la medida del clima y la protección contra inundaciones.

- **Grandes cuencas.** Área de drenaje mayor a 1.000 Km². El alto aforo de agua que emana a través de ellas se debe a su gran área de drenaje. Esto puede hacer que los ríos que las atraviesan sean más caudalosos y, en algunos casos, más peligrosos. Asimismo, presenta una mayor complejidad en el sistema de drenaje y una diversidad de usos del suelo como agricultura, ganadería, minería y actividades urbanas. Esto puede generar impactos ambientales significativos en la calidad y en la cantidad del agua disponible.

Por el sitio de desembocadura

Las cuencas hidrográficas también se pueden clasificar según su sitio de desembocadura, es decir, en qué lugar desembocan las corrientes de agua que la componen.

- **Cuenca endorreica.** Es una cuenca cerrada en la que las aguas no fluyen hacia el mar o hacia un río principal. En este tipo de cuenca, las corrientes de agua se concentran en una depresión o en una zona baja y forman un lago o una laguna. La evaporación del agua es el principal mecanismo para su salida de la cuenca. Este tipo de cuenca se encuentra comúnmente en regiones áridas y semiáridas y se caracteriza por tener un elevado porcentaje de evaporación y una baja tasa de infiltración.

- **Cuenca exorreica.** Es una cuenca abierta que se caracteriza por tener corrientes de agua que desembocan en el mar o en un río principal. En este tipo de cuenca, el agua fluye hacia un punto de salida

y se une a otros cursos de agua para formar ríos más grandes. Más bien, gran parte de las cuencas hidrográficas del mundo son de este tipo y resultan esenciales para el suministro de agua dulce y la navegación comercial.

- **Cuenca arreica.** Es una cuenca que no tiene un sistema de drenaje natural y no cuenta con corrientes de agua que fluyan hacia el mar o un río principal. En este tipo de cuenca, el agua se infiltra en el suelo y se acumula en acuíferos subterráneos o se evapora. Las cuencas arreicas se encuentran comúnmente en regiones desérticas y semiáridas y se caracterizan por una alta tasa de evaporación y baja infiltración.

Por su uso

Las cuencas hidrográficas también se pueden clasificar según su uso principal. A continuación, se explican tres tipos de cuencas según su uso:

- **Cuencas para abastecimiento de agua potable.** Estas cuencas tienen una gran importancia para la sociedad, ya que son fuentes principales de agua para uso antrópico. Las cuencas utilizadas para este fin deben tener una calidad de agua adecuada y un suministro constante. Además, es necesario gestionar su uso de manera sostenible para asegurar la disponibilidad de agua a largo plazo.

- **Cuencas para agua de riego.** Son utilizadas principalmente para la agricultura y el riego. Las características de estas cuencas son diferentes a las cuencas para abastecimiento de agua potable, dado que necesita de un mayor volumen de agua y una menor calidad de la misma.

- **Cuencas para navegación.** Estas cuencas son utilizadas para la navegación de barcos y otros medios de transporte acuático. Generalmente, estas cuencas se encuentran en áreas costeras y son importantes para el intercambio económico de la región. Es necesario

mantener un canal de navegación adecuado y controlar los niveles de agua para evitar inundaciones y otros problemas.

Los recursos hídricos de Colombia

En Colombia se pueden encontrar seis tipos de recursos hídricos, los cuales incluyen: aguas superficiales, subterráneas, lluvias, termo minerales, marinas, oceánicas, así como aguas de alimentación glacial. Además, el país cuenta con una amplia diversidad de ecosistemas acuáticos que albergan una rica biodiversidad de flora y fauna. En efecto, debido a su posición geográfica y las características topográficas de su territorio, el país experimenta una precipitación media anual que supera los 3.000mm, lo que simboliza una importante cantidad de recursos hídricos en comparación con la media mundial de 900mm y el promedio de Suramérica de solo 1.600mm (IDEAM, 2013).

Por su parte, en cuanto a la clasificación de las unidades hidrográficas esta se divide en tres niveles: áreas, zonas y subzonas. Las áreas hidrográficas representan las grandes cuencas que agrupan un grupo de ríos con sus afluentes que desembocan en un mismo mar. Las zonas hidrográficas, a su vez, agrupan varias cuencas con características homogéneas de relieve y drenaje que entregan sus aguas mediante un afluente principal hacia un área hidrográfica. Finalmente, las subzonas hidrográficas la cual se refiere a las cuencas que vierten sus aguas a las zonas hidrográficas (IDEAM, 2019).

De acuerdo con esta clasificación, en el territorio se identifican cinco áreas hidrográficas que corresponden a las vertientes del Orinoco, Amazonas, Atlántico (Caribe) y Pacífico. Adicionalmente, se estableció la del Magdalena-Cauca como una quinta área hidrográfica debido a su relevancia en términos socioeconómicos y de acuerdo con esta clasificación, en el territorio se identifican cinco áreas hidrográficas que corresponden a las vertientes del Orinoco, Amazonas, Atlántico

(Caribe) y Pacífico. Adicionalmente, se estableció la del Magdalena-Cauca como una quinta área hidrográfica debido a su relevancia en términos socioeconómicos y su aporte al producto interno bruto del país como se presenta en la Figura 2.2 (IDEAM, 2019).

Figura 2.2

Ubicación y extensión de las áreas hidrográficas colombiana.



Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia (2023).

Es así como la vertiente del mar Caribe o del Atlántico presenta la mayor densidad de población, la actividad económica más diversa y un elevado transporte de carga en sus puertos. Esta vertiente se extiende desde la Sierra Nevada de Santa Marta en el norte del país hasta la península de La Guajira en la frontera con Venezuela, y está conformada por varias subzonas hidrográficas que incluyen cuencas de ríos

importantes como el Magdalena, Cauca, Sinú, Atrato y otros de menor caudal (Figura 2.3). El río Magdalena es el primordial sistema hídrico de esta vertiente y es considerado uno de los más significativos de América del Sur con una longitud de 1.528 kilómetros (Km), atraviesa el país desde el sur hasta el norte y recorre más de 20 departamentos. El río Cauca, por su parte, es el principal afluente del Magdalena y tiene una longitud de 1.400 Km. En esta vertiente, la precipitación anual promedio es de alrededor de 1.500 milímetros (mm) y la red hidrográfica se compone principalmente de ríos de caudal medio y bajo, así como de arroyos y quebradas (IDEAM, 2019).

Figura 2.3

Cuenca del río Magdalena.



Fuente: Elaboración propia (2023).

Por su parte, la vertiente del río Orinoco se localiza en el Este de Colombia y abarca gran parte del departamento de Vichada, parte de los departamentos de Meta, Arauca y Casanare y pequeñas porciones de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca (Figura 2.4). Se caracteriza por tener una topografía plana con una altitud promedio de 200 m.s.n.m y está conformada por varias cuencas hidrográficas que se producen en las montañas de la Cordillera Oriental y los Llanos Orientales que desembocan en el río Orinoco (Domínguez, 1998).

Figura 2.4

Cuenca del río Orinoco.



Fuente: Elaboración propia (2023).

A su vez, la vertiente del océano Pacífico en Colombia (Figura 2.5) se extiende por la costa suroccidental de Colombia, desde la frontera con Ecuador hasta el Golfo de Urabá en el departamento de Antioquia con una extensión de aproximadamente 135.000 Km². Las corrientes fluviales más importantes son los ríos San Juan, Patía, Mira, Naya y Baudó, los cuales tienen sus nacientes en los Andes colombianos y desembocan en el océano Pacífico, siendo el río San Juan uno de los principales ríos de la vertiente. Se inicia en la cordillera occidental de los Andes y tiene una longitud de aproximadamente 450 Km. Su cuenca hidrográfica abarca una superficie de alrededor de 25.000 Km² (IDEAM, 2019).

Figura 2.5
Cuenca del Pacífico colombiano.



Fuente: Elaboración propia (2023).

Finalmente, la vertiente del río Amazonas situada en la zona suroriental del país, que abarca los departamentos de Caquetá, Putumayo, Amazonas, Guainía y Vaupés, así como una parte del departamento del Cauca. El río Amazonas (Figura 2.6), que nace en Perú y atraviesa Colombia, es el más caudaloso del mundo y en su recorrido por Colombia, recibe el aporte de numerosos ríos y quebradas provenientes de la vertiente. Asimismo, dicha vertiente recibe un promedio de 3.000 y 5.000 mm de lluvias anuales, lo que contribuye a la formación de importantes ríos y a la presencia de una exuberante vegetación; con una gran variedad de especies vegetales. Esta vertiente es una de las más importantes del país en cuanto a sus recursos hídricos y biodiversidad, ya que es parte del ecosistema amazónico considerado como uno de los más grandes e importantes del mundo (IDEAM, 2019).

Figura 2.6

Cuenca del río Amazonas.



Fuente: Elaboración propia (2023).



El suelo

El suelo

El vocablo "suelo" tiene varios significados, entre los cuales se refiere al medio natural para el desarrollo de las plantas. Además, se ha determinado como un cuerpo natural que está compuesto por capas de suelo (horizontes del suelo) que contienen diversos materiales como agua, aire, minerales meteorizados y materia orgánica. Más bien, es el resultado último a través del tiempo y combinado con el clima, la topografía, los organismos (actividades antrópicas, fauna y flora) y los materiales parentales (rocas y minerales originarios) (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2022).

Por su parte, Brady y Weil (2017) afirman que el suelo es el material natural que se encuentra en la superficie terrestre, que ha sido afectado por procesos pedogenéticos (formación del suelo) y por la acción combinada del clima, la biota y los factores topográficos. En otras palabras, el suelo es la franja superior de la superficie terrestre compuesta por materia orgánica, mineral y gases, que interactúan entre sí para formar un medio vital para la vida en la Tierra. Es el soporte físico y biológico de la mayoría de los organismos terrestres, proporcionando nutrientes, agua, así como oxígeno a las plantas y a los microorganismos. En efecto, es el resultado de la acción de los procesos biológicos y geológicos que actúan sobre la roca madre a lo largo del tiempo, además su composición y propiedades varían dependiendo de la región geográfica y de los factores climáticos, bióticos, así como antrópicos siendo un recurso natural fundamental para la producción de alimentos, la defensa del medio ambiente y el mantenimiento de la biodiversidad (Jaramillo, 2002).

En este sentido, el suelo es un recurso natural clave para la agricultura ya que es la principal fuente de nutrientes para las plantas, posee la capacidad de retener agua y de liberarla gradualmente a medida que las

plantas la necesitan, así como soporte físico. Además, es un hábitat para una variedad de microorganismos y organismos vivos incluyendo bacterias, hongos, insectos y lombrices los cuales desempeñan un papel clave en la degradación de la materia orgánica y en la liberación de nutrientes del suelo, lo que a su vez mejora la calidad del suelo y su capacidad para mantener la vida de la flora.

Factores de formación del suelo

La formación del suelo es un mecanismo complejo y gradual que puede tomar miles o incluso millones de años, que a su vez está influenciado por diferentes factores que actúan de forma interrelacionada y determinan sus características químicas, físicas y biológicas. Gerrard (2004) sostiene que el tiempo y el clima son algunos de los factores fundamentales en la evolución del suelo, mientras Van Breenman y Buurman (2003) argumentan que la formación del suelo está condicionada no solo por el clima y el tiempo sino también por el material parental, el relieve y la biota los cuales interactúan de manera compleja para dar origen a suelos con características y propiedades distintivas.

En este sentido, los factores de formación del suelo son elementos clave que contribuyen a la creación de los diferentes tipos de suelos; primordiales para el desarrollo de la vida vegetal y animal en nuestro planeta, los cuales se explican brevemente a continuación (Van Breenman & Buurman, 2003):

- **Material parental.** Se refiere a las rocas y minerales a partir de los cuales se formará el suelo. La composición mineralógica y la estructura de las rocas influyen en las propiedades biológicas, químicas y físicas del suelo.
- **Clima.** Las condiciones climáticas como la humedad, la temperatura, así como la precipitación, tienen un gran impacto en el mecanismo de formación del suelo. Influye en la velocidad de la meteorización, la erosión y la acumulación de materiales orgánicos e inorgánicos.

- **Topografía.** La pendiente, la orientación y la forma del terreno también influyen en la formación del suelo. Las pendientes más inclinadas tienden a tener una erosión mayor y una acumulación de materiales menor mientras que las zonas más planas favorecen la acumulación de materiales.
- **Organismos.** La presencia de organismos, como plantas, animales, bacterias y hongos, influye en la descomposición de la materia orgánica, la formación de nutrientes y la estructura del suelo.
- **Tiempo.** El tiempo es un factor crítico en la formación del suelo, ya que los procesos de meteorización y transformación de los materiales parentales en suelo son procesos lentos y graduales que acontecen a través de millones de años.

Las propiedades macromorfológicas del suelo

Las propiedades macromorfológicas del suelo se refieren a las características visibles del suelo en su estado natural, es decir, a simple vista o al tacto. Estas propiedades se basan en la observación de la estructura, la textura, el color, la consistencia, la porosidad y la presencia de raíces o de otros organismos en el suelo (Rai, 2003).

- **Estructura.** Está relacionado con la forma en que las partículas del suelo se organizan en agregados o unidades estructurales, que pueden ser granulares, prismáticas, laminares o masivas.
- **Textura.** Es el tamaño de las partículas del suelo, que pueden ser arena, limo o arcilla. La textura influye en el aforo del suelo para retener agua y nutrientes.
- **Color.** Puede variar, desde tonalidades oscuras que indican una mayor cantidad de materia orgánica hasta tonalidades claras, que indican una mayor presencia de minerales.
- **Consistencia.** Se refiere a la resistencia del suelo al ser manipulado lo cual puede variar; desde muy suelto y friable hasta muy compacto y duro.
- **Porosidad.** Es la cantidad y tamaño de los espacios porosos en el suelo que son importantes para la circulación de agua y aire.
- **Raíces y organismos.** La presencia de raíces, lombrices u otros organismos en el suelo puede indicar una mayor fertilidad y actividad biológica en el suelo.

El perfil del suelo y las propiedades físicas

El perfil del suelo representa la disposición de las diferentes capas horizontales del suelo. Es así como cada capa, llamada horizonte, tiene características específicas que se desarrollan a lo largo del tiempo en respuesta a los procesos de formación del suelo. Más bien se divide en tres grandes partes denominadas horizonte superficial, sub-superficial y profundo (Brady & Weil, 2017; Rai, 2003).

El horizonte superficial también conocido como capa vegetal, es la capa superior del suelo que se desarrolla en respuesta a los procesos biológicos y climáticos, el cual contiene la mayor cantidad de materia orgánica y nutrientes; lo que la hace vital para el desarrollo de las plantas y la producción agrícola. Por su parte, el horizonte sub-superficial también conocido como sub-suelo, se encuentra debajo del horizonte superficial y es donde se encuentran la totalidad de las raíces de las plantas. En efecto, es menos orgánica y más compacta que la capa superficial, lo que la hace menos adecuada para el crecimiento de las plantas, sin embargo, es importante porque puede proporcionar a las plantas un suministro constante de agua y nutrientes durante las épocas de sequía (Brady & Weil, 2017; Rai, 2003).

Por último, el horizonte profundo también conocido como capa de roca madre, que se encuentra debajo del horizonte sub-superficial y está compuesto por roca sólida y material mineral sin procesar. Esta capa es importante dado que suministra la base para la formación del suelo y tiene un papel clave en la retención y distribución del agua subterránea (Brady & Weil, 2017; Rai, 2003).

A su vez, las características físicas del suelo se refieren a las propiedades que afectan la capacidad del suelo para sostener las plantas, retener el agua y los nutrientes, así como proporcionar un ambiente adecuado

para los organismos del suelo. Entre las diferentes propiedades se incluye la textura del suelo, la cual está asociada a la dimensión de las partículas que la conforman que pueden ser arena, limo o arcilla; la estructura que hace referencia a la forma en que las partículas se agrupan en agregados o unidades estructurales, la densidad aparente en el que se refiere a la masa de suelo por unidad de volumen, lo que puede indicar la compacidad del suelo y su capacidad para retener agua y aire; la porosidad en el que muestra la cantidad y tamaño de los espacios porosos en el suelo, importantes para la circulación de agua y aire, así como para el desarrollo de las raíces. La permeabilidad del suelo que tiene como función medir la velocidad a la que el agua se mueve a través del suelo, lo que afecta la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes, así como para drenar el exceso de agua. Finalmente, la capacidad de detención de agua del suelo que a su vez depende de la textura, porosidad y estructura del suelo (Brady & Weil, 2017; Rai, 2003).

En este sentido, los suelos con una mayor proporción de arena tienden a tener una menor capacidad para retener agua, mientras que los suelos con una mayor proporción de arcilla tienden a retener más agua. La estructura del suelo asimismo influye en la cuantía de agua disponible, ya que los suelos con una buena estructura forman poros grandes y pequeños que permiten el movimiento del agua, así como del aire. La porosidad del suelo, por su parte, determina el volumen de agua que puede ser retenida en el suelo y suministrada a las plantas.

Las propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas del suelo son de gran importancia para los agricultores, ya que influyen en la capacidad de este para suministrar nutrientes a las plantas, así como en la eficacia de los fertilizantes y otros productos químicos utilizados en la agricultura. Es así como su comprensión es esencial para el manejo adecuado de la fertilidad del suelo y para la toma de decisiones informadas, en la selección de cultivos y prácticas agrícolas. Entre las primordiales propiedades químicas del suelo se encuentran (Brady & Weil, 2017; Wang, 2016):

- **pH.** es el valor de la acidez o alcalinidad del suelo y se expresa en una escala de 0 a 14. Un pH de 7 es neutro mientras que por debajo de 7 es ácido y por encima es alcalino. El pH influye en la solubilidad y la disponibilidad de los nutrientes para las plantas.
- **Capacidad de intercambio Catiónico (CIC).** Es la capacidad del suelo para retener los cationes que son iones positivos como calcio, magnesio y potasio. La CIC depende de la cantidad de materia orgánica, así como la de arcilla en el suelo y es importante para la disponibilidad de los nutrientes.
- **Contenido de nutrientes.** Hace referencia a la cantidad de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio presentes en el suelo. Estos son fundamentales para el desarrollo de las plantas y pueden variar en cantidad dependiendo del tipo de suelo y la actividad agrícola.
- **Materia orgánica.** Se refiere a los restos de plantas y animales que se descomponen en el suelo y aportan nutrientes y otros beneficios para las plantas y los organismos del suelo. La cuantía de materia orgánica influye en la estructura y las potencialidades del suelo, para retener agua y nutrientes.

- **Sales solubles.** Es la cantidad de sales disueltas en el suelo como el cloruro o el sulfato. En cantidades altas, estas sales pueden ser tóxicas para las plantas y reducir la disponibilidad de otros nutrientes.
- **Compuestos orgánicos e inorgánicos.** Está asociado a la presencia de diferentes compuestos químicos en el suelo como pesticidas, herbicidas, metales pesados.

Las propiedades biológicas del suelo

Las propiedades biológicas del suelo están íntimamente ligadas a la presencia y actividad de los organismos vivos, quienes ejercen influencia en los procesos que tienen lugar en este medio. Los elementos bióticos del sustrato terrestre abarcan una diversidad que incluye bacterias, hongos, protozoos, nematodos, lombrices y otros invertebrados, además de plantas y animales que encuentran en él su hábitat. Estos seres interactúan entre sí y con el entorno físico y químico del medio, desempeñando roles cruciales en la regulación de los ciclos de nutrientes, la descomposición de materia orgánica, la estructuración del suelo y la mejora de su calidad (Brady & Weil, 2017; Wang, 2016).

Uno de los aspectos más críticos de las propiedades biológicas es su influencia en la fertilidad del suelo. Los organismos que habitan en este medio son responsables de descomponer la materia orgánica y liberar nutrientes esenciales como el nitrógeno, fósforo y potasio, fundamentales para el crecimiento de las plantas. Además, contribuyen a mejorar la estructura del suelo al generar agregados estables y canales de aireación, facilitando así la circulación de agua y aire y reduciendo enfermedades vegetales. Asimismo, compiten con patógenos y producen compuestos antimicrobianos que ayudan a prevenir infecciones, fortaleciendo la resistencia de las plantas frente a situaciones de estrés ambiental, como la sequía o temperaturas extremas (Brady & Weil, 2017; Wang, 2016).

Las principales propiedades biológicas del suelo son:

- **Biomasa microbiana.** Se refiere a la cantidad de microorganismos presentes en el suelo, tales como bacterias, hongos y protozoos y su función en el ciclado de nutrientes, la transformación de la materia orgánica y la regulación de la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

- **Actividad enzimática.** Son proteínas que catalizan las reacciones químicas en el sustrato terrestre y son producidas por los microorganismos. La actividad enzimática del suelo puede indicar la disponibilidad de nutrientes y la calidad de la materia orgánica presente.
- **Mineralización de nutrientes.** La mineralización es un mecanismo por el cual los nutrientes de la materia orgánica del suelo son transformados en formas inorgánicas utilizables para las plantas. La velocidad de mineralización depende de factores biológicos, químicos y físicos y es esencial para el abastecimiento de nutrientes a las plantas.
- **Comunidad de macroorganismos.** Incluye a los organismos visibles a simple vista, tales como lombrices de tierra, insectos y otros artrópodos, que influyen en la estructura del suelo, la formación de agregados y la circulación del aire y el agua.
- **Ciclo del Nitrógeno.** El nitrógeno es un elemento fundamental para la síntesis de proteínas en las plantas. La disponibilidad de nitrógeno en el suelo está regulada por la actividad microbiana que transforma los compuestos orgánicos e inorgánicos de nitrógeno, en formas disponibles para las plantas.
- **Fijación de Nitrógeno.** Algunos microorganismos son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico en formas utilizables por las plantas. Este proceso es significativo para la fertilidad del suelo y la disminución de la dependencia de fertilizantes nitrogenados.

Los tipos de suelo

El suelo es uno de los recursos naturales más sustanciales del planeta y juega un papel fundamental en la supervivencia y el desarrollo de las plantas, así como de los animales. Sin embargo, no todos son iguales, ya que su composición y características pueden variar significativamente según la región geográfica en la que se localicen. En este contexto, el conocimiento de los tipos de suelo es esencial para los agricultores, quienes deben adaptar sus prácticas agrícolas a las condiciones del suelo para obtener un rendimiento óptimo de sus cultivos. Existen diferentes tipos, cada uno con características únicas que los hacen adecuados para diferentes usos y cultivos. A continuación, se presentan algunos de los más comunes (Wang, 2016; Jaramillo, 2002):

- **Suelos arenosos.** Tienen una alta proporción de arena y, por ende, presentan una textura gruesa y suelta. Debido a su baja capacidad de retención de agua y nutrientes, son propensos a la sequía y requieren una gestión cuidadosa para mantener su fertilidad (Figura 3.1).

Figura 3.1

Suelo arenoso.



Fuente: Elaboración propia (2023).

- **Suelos arcillosos.** Contienen una alta proporción de arcilla, lo que les confiere una textura suave y fina. Debido a su capacidad para retener agua y nutrientes son altamente productivos. Sin embargo, también pueden ser propensos a la compactación y al encharcamiento si no se gestionan adecuadamente (Figura 3.2).

Figura 3.2

Suelo arcilloso.



Fuente: Elaboración propia (2023).

- **Suelos limosos.** Presentan una proporción equilibrada de arena, arcilla y limo, lo que les confiere una textura suave y porosa. Son altamente productivos gracias a su capacidad para retener agua y nutrientes y se emplean ampliamente para cultivos de alto rendimiento como cereales y hortalizas (Figura 3.3).

Figura 3.3
Suelo limoso.



Fuente: Elaboración propia (2023).

- **Suelos salinos.** Exhiben altas concentraciones de sales disueltas y, por ende, son propensos a la salinidad. Se encuentran comúnmente en regiones áridas y semiáridas y pueden resultar difíciles de cultivar debido a su baja fertilidad (Figura 3.4).

Figura 3.4

Suelo salino.

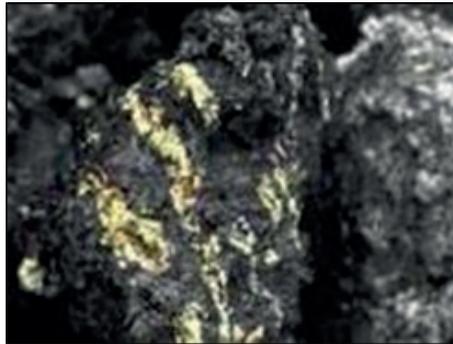


Fuente: Elaboración propia (2023).

- **Suelos ácidos.** Poseen un pH inferior a 7, lo que los hace ácidos y menos adecuados para algunos cultivos. Pueden requerir correcciones para elevar el pH y mejorar la productividad (Figura 3.5).

Figura 3.5

Suelo ácido.



Fuente: Portal de Suelos de la FAO (2024).

- **Suelos alcalinos.** Estos suelos tienen un pH superior a 7, lo que los hace alcalinos y menos propicios para algunos cultivos. Igualmente, pueden requerir rectificaciones para reducir la alcalinidad y mejorar la productividad (Figura 3.6).

Figura 3.6

Suelo alcalino.



Fuente: Elaboración propia (2023).

Clasificación de los suelos

La clasificación de los suelos es un proceso que se basa en la observación de sus características tales como textura, estructura, pH, nutrientes, entre otros y su posterior agrupación en categorías o clases que tienen en común ciertas propiedades. La misma puede ser realizada de diferentes maneras, dependiendo del objetivo y la finalidad que se persiga; existiendo dos grandes sistemas de clasificación: el del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) y el de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

El sistema de clasificación de suelos de la USDA se fundamenta en criterios como la textura, la mineralogía, la profundidad, el drenaje, la acidez y otros factores, y divide los suelos en 12 órdenes; cada uno con diferentes subórdenes y características específicas. Por otro lado, el sistema proporcionado por la FAO, también conocido como Sistema Internacional de Clasificación de Suelos (SICS), se basa en criterios como el clima, la vegetación y la geología y divide los suelos en 32 grandes grupos, cada uno con diferentes subgrupos y características específicas. En ambos sistemas de clasificación los suelos se agrupan en función de sus características y propiedades físicas, químicas y biológicas. Además, cada sistema cuenta con una amplia gama de subcategorías y clasificaciones que permiten una mayor precisión en la descripción de las particularidades de los suelos.

Clasificación de los suelos según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

La clasificación del USDA se basa en la presencia de horizontes o capas de suelo específicas, que son identificadas por letras y números. En esta clasificación se dividen en doce órdenes, cada una de las cuales

se subdivide en diferentes subórdenes, grandes grupos, subgrupos, familias y series (USDA, 2022):

- **Entisoles.** Son suelos jóvenes que no han desarrollado horizontes bien definidos debido a la falta de tiempo o procesos de formación limitados.
- **Inceptisoles.** Son suelos que muestran algún grado de desarrollo de horizontes, pero que no son lo suficientemente desarrollados para clasificarlos como otros órdenes.
- **Andisoles.** Son suelos que se formaron a partir de ceniza volcánica o materiales similares y tienen propiedades especiales debido a su origen.
- **Gelisoles.** Son suelos que están congelados por lo menos dos meses al año y no tienen desarrollo de horizontes debido a la actividad biológica limitada.
- **Histosoles.** Son suelos que se forman en áreas con acumulación de materia orgánica, ocasionado por la descomposición incompleta de plantas y otros materiales orgánicos.
- **Aridisoles.** Son suelos que se forman en áreas áridas y semiáridas y tienen horizontes poco desarrollados debido a la limitada actividad biológica y de meteorización.
- **Vertisoles.** Son suelos que tienen un alto contenido de arcilla y se expanden y contraen significativamente con los cambios en la humedad, lo que puede causar problemas en la construcción.
- **Mollisoles.** Son suelos profundos y ricos en nutrientes que se encuentran en las grandes explanadas de América del Norte, Eurasia y Sudamérica.

- **Alfisoles.** Son suelos que tienen horizontes de acumulación de arcilla y son comunes en las regiones templadas y húmedas de América del Norte y Asia.
- **Ultisoles.** Son suelos que tienen horizontes de acumulación de arcilla y son comunes en regiones tropicales y subtropicales.
- **Spodosoles.** Son suelos que se forman en áreas boscosas con agudo contenido de arena y materia orgánica y tienen un horizonte sub-superficial de ceniza.
- **Oxisoles.** Son suelos que se distribuyen en las regiones tropicales y subtropicales y son altamente intemperizados, lo que significa que han experimentado una intensa meteorización y lixiviación de nutrientes.

Clasificación de los suelos según la FAO

La clasificación de suelos de la FAO es ampliamente utilizada en todo el mundo y consta de diferentes niveles. El primero, se refiere al grupo de suelo que se basa en características morfológicas como el color, la textura, la estructura y la presencia de horizontes, mientras que el segundo nivel abarca los subgrupos de referencia que se fundamentan en propiedades físicas y químicas tales como la capacidad de retención de agua, el pH y la cantidad de materia orgánica. El tercer nivel consiste en la unidad de suelo, que se determina por la presencia y distribución de los horizontes del suelo. Estas unidades se subdividen en subunidades, que se definen según las características de los horizontes individuales.

Por su parte, el cuarto nivel corresponde a la serie de suelo, que se determina según la presencia y distribución de los horizontes, así como las características de las unidades y subunidades del suelo. Estas series se subdividen en fases, las cuales se definen según las características de los horizontes y la serie de suelo. El quinto nivel se refiere al tipo de

suelo, el cual se establece en función de la textura, composición mineralógica, clima y vegetación de la región donde se encuentra. Finalmente, el sexto y último nivel corresponde al subtipo de suelo, el cual se determina por características específicas como profundidad, erosión y presencia de roca madre.

Clasificación de los suelos en Colombia

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) es el encargado de la cartografía y la clasificación de suelos en Colombia, el cual se basa en la adaptación del Sistema de Clasificación de Suelos de la USDA y se enfoca en la identificación y descripción de sus diferentes componentes.

Más bien se realiza en dos etapas: la identificación de la unidad de mapeo y la clasificación taxonómica del suelo. La primera fase radica en la identificación de la unidad de mapeo, que se define como una zona geográfica con características físicas, químicas y biológicas similares. En esta etapa se lleva a cabo una descripción general de la unidad de mapeo, incluyendo la geología, la topografía, el clima y la vegetación.

En la segunda etapa se realiza la clasificación taxonómica, que implica la identificación de los diferentes componentes del suelo y la clasificación en función de sus características. Para esto se lleva a cabo una descripción detallada de los diferentes horizontes (capas) y se identifican sus propiedades físicas, químicas y biológicas. La consecuencia de este proceso es la identificación de diferentes tipos de suelos, que se congregan en clases y subclases en función de sus características comunes.

Colombia es un país que cuenta con una gran diversidad de suelos, los cuales son de vital importancia hacia la productividad agrícola, así como la conservación del medio ambiente. En el territorio se encuentran nueve de los doce órdenes existentes en el mundo, siendo los Gelisoles el único que no se encuentra presente (IGAC, 1995 & 1988).

En la región de la Amazonía colombiana, se observa una gran diversidad de tipos de sustratos terrestres, siendo los inceptisoles distróficos los más predominantes con un 48% de cobertura, seguidos por los oxisoles con un 26%, y los entisoles también de carácter distrófico con un 24%. Estas características reflejan la baja fertilidad del suelo en la región a pesar de su exuberante vegetación. Resulta relevante mencionar que esta baja fertilidad se atribuye a los altos niveles de acidez y los bajos contenidos de nutrientes esenciales para las plantas, lo cual limita la productividad agrícola y la adopción de prácticas sostenibles en la zona (Jaramillo, 2002).

Por otro lado, en la región Andina, la mayoría corresponden a los órdenes Inceptisol y Entisol, con una baja saturación de bases predominante. Los suelos del orden Alfisol y Mollisol que presentan mejores condiciones de saturación, solo se encuentran en climas más secos; en áreas donde predomina la ceniza volcánica. Los suelos del orden Andisol son predominantes, pero también muestran una baja saturación de bases (Jaramillo, 2002).

En cuanto a la región del Pacífico colombiano, destaca la amplia presencia de suelos de los órdenes Ultisol y Oxisol. Éstos comparten similitudes con los de la Amazonía, como la predominancia de la fracción arena en cuarzo y la fracción arcilla compuesta mayoritariamente por Caolinita, con o sin Gibsita. Además, estos suelos son ácidos y presentan bajos contenidos de materia orgánica, lo que sugiere una disminución en la calidad nutricional para las plantas en esta región (IGAC, 1995 & 1988).

A su vez, en la región del Caribe, se observa una gran diversidad de sustratos terrestres y en algunas áreas se destaca la presencia de arcillas expandibles, específicamente los vertisoles, los cuales pueden afectar la capacidad de retención de agua del suelo. Asimismo, se pueden encontrar suelos con acumulación de sales y sodio como los Ardisoles. No obstante, en extensas zonas se desarrollan suelos con características muy favorables para la producción agrícola y ganadera, como los Mollisoles. Estos últimos son ricos en materia orgánica y nutrientes,

con una buena capacidad de retener agua y un pH neutro, lo que los convierte en suelos ideales para el desarrollo de actividades agrícolas (IGAC, 1995).

En la región de la Orinoquía colombiana existen los ultisoles y oxisoles que son altamente ácidos y pobres en nutrientes, con baja capacidad de retener agua; los cuales se encuentran principalmente en la zona suroccidental. Los inceptisoles y entisoles que son suelos jóvenes y poco desarrollados, con baja fertilidad y poca retención de agua se ubican principalmente en la zona central. Finalmente, los suelos alfisoles y mollisoles los cuales son ricos en nutrientes y materia orgánica, con buena retención de agua y pH neutro, se localizan principalmente en la zona norte (IGAC, 1995).

Finalmente, en las zonas extracontinentales (islas) del territorio colombiano, los más comunes son los del orden Inceptisol, aunque también se pueden encontrar áreas importantes de suelos del orden Entisol. Según el IGAC (1988), en San Andrés la fracción gruesa de los suelos está compuesta principalmente por calcita, cuarzo y feldespato, mientras que en las demás islas se encuentran micas, feldespatos, así como minerales alterados. En cuanto a la fracción arcilla; todas las islas demuestran una predominancia de Caolinita y Montmorillonita.

Zonas agroecológicas

Existen diferentes conceptos y definiciones de zonas agroecológicas según los autores y enfoques disciplinarios. Según Gliessman (2007) son "áreas que se distinguen por sus condiciones climáticas, topográficas y edáficas y que requieren de diferentes estrategias y tecnologías agrícolas para su manejo sostenible" (p. 76). El autor destaca la importancia de la diversidad de dichas áreas para el mantenimiento de la biodiversidad y la seguridad alimentaria.

Por su parte, Altieri y Nicholls (2017) la conceptualiza como "regiones naturales que comparten características ecológicas similares y que son capaces de soportar sistemas agrícolas diversos y sostenibles" (p. 16). Más bien, enfatizan en la importancia de considerar la complejidad ecológica y social de cada zona agroecológica para el diseño de sistemas agrícolas apropiados.

En el contexto de la planificación territorial se caracterizan como áreas que presentan atributos biofísicos homogéneos y un potencial agropecuario y forestal específico (FAO, 2013, p. 53). Esta descripción subraya la necesidad de abordar tanto los aspectos biológicos como los socioeconómicos al delinear estas áreas.

En general, son regiones geográficas en las que se aplican prácticas agrícolas y de administración de recursos naturales que se adaptan a las características específicas del ambiente, incluyendo la topografía, el clima, el suelo y la biodiversidad. Se basan en la comprensión de los ecosistemas locales y en la combinación de los conocimientos tradicionales y científicos para desarrollar En general, son regiones geográficas en las que se aplican prácticas agrícolas y de administración de recursos naturales que se adaptan a las características específicas del ambiente, incluyendo la topografía, el clima, el suelo y la biodiversi-

dad. Se basan en la comprensión de los ecosistemas locales y en la combinación de los conocimientos tradicionales y científicos para desarrollar sistemas agrícolas que sean sostenibles y adaptativos. Estos sistemas se caracterizan por la multiplicidad de cultivos y la combinación de prácticas como la rotación de cultivos, el manejo integrado de plagas y enfermedades, la agricultura de conservación, el empleo de abonos orgánicos y la agroforestería.

Ahora bien, una herramienta clave para la tipificación de estas características son las zonas de vida, que permiten clasificar los diferentes ecosistemas en función de factores climáticos como la temperatura y la precipitación. Las zonas de vida, junto con otras variables agroecológicas, son utilizadas para definir las zonas agroecológicas, que son unidades territoriales en las que se pueden desarrollar sistemas de producción agrícola específicos, adaptados a los contextos ambientales y culturales de cada zona.

La zona de vida de Holdridge

La Zona de Vida de Holdridge también conocida como la clasificación de vida y clima, es una herramienta desarrollada por el botánico y ecólogo Leslie R. Holdridge en 1947 y posteriormente modificada en 1977 para clasificar los ecosistemas naturales en función de su clima, vegetación y suelo. Se basa en el principio de que los factores climáticos como la temperatura, la precipitación y la evaporación, son los primordiales determinantes de la distribución de la vegetación. El sistema de Holdridge divide el mundo en 36 zonas de vida que se organizan en tres grupos principales: los climas húmedos, los secos y los fríos. En la Tabla 3.1 a continuación se muestra cómo se definen las zonas de vida de Holdridge en función de estas variables:

Tabla 3.1
Zona de vida según Holdridge.

Zona de vida	Temperatura media anual (°C)	Precipitación anual (mm)	Evaporación potencial (mm)	Índice de aridez
Tropical lluvioso	>18	>2.000	<1.000	<0.5
Bosque seco tropical	>18	1.000-2.000	<1.000	<0.5
Bosque húmedo subtropical	12-18	>2.000	<1.000	<0.5
Bosque seco subtropical	12-18	1.000-2.000	<1.000	<0.5
Bosque templado lluvioso	6-12	>2.000	<1.000	<0.5
Bosque templado húmedo	6-12	1.000-2.000	<1.000	<0.5
Bosque templado seco	6-12	<1.000	<1.000	>0.5
Estepa tropical	>18	<1.000	>1.000	>0.5
Estepa cálida	12-18	<1.000	>1.000	>0.5
Estepa fría	6-12	<1.000	>1.000	>0.5
Tundra	<6	<1.000	>1.000	>0.5

Fuente: Holdridge (1977).

Clasificación de las zonas agroecológicas según la FAO

La clasificación de zonas agroecológicas de la FAO se basa en un enfoque de diagnóstico territorial que identifica áreas con características ecológicas, culturales y socioeconómicas similares, para el progreso sostenible de la agronomía y la seguridad alimentaria. Esta clasificación se basa en tres factores principales: clima, suelo y vegetación (FAO, 1997).

- **Clima.** Se refiere a las condiciones meteorológicas y climáticas de una región, incluyendo la temperatura, la precipitación y la humedad. La FAO divide las zonas agroecológicas en 7 categorías climáticas, desde la zona árida hasta la zona húmeda.
- **Suelo.** Se refiere a las características del suelo incluyendo su textura, estructura, profundidad y nutrientes. La FAO clasifica los suelos en 32 unidades de suelo que se subdividen en subunidades.

- **Clima.** Se refiere a las condiciones meteorológicas y climáticas de una región, incluyendo la temperatura, la precipitación y la humedad. La FAO divide las zonas agroecológicas en 7 categorías climáticas, desde la zona árida hasta la zona húmeda.
- **Suelo.** Se refiere a las características del suelo incluyendo su textura, estructura, profundidad y nutrientes. La FAO clasifica los suelos en 32 unidades de suelo que se subdividen en subunidades.
- **Vegetación.** Se refiere a la flora y fauna de una región incluyendo la presencia o ausencia de árboles, arbustos, pastos y otros cultivos. La FAO divide las zonas agroecológicas en 5 categorías vegetales; desde las zonas de bosques y sabanas hasta las zonas de desiertos.

La combinación de estos tres factores permite a la FAO definir 21 zonas agroecológicas a nivel mundial, cada una con características específicas en términos de clima, suelo y vegetación. Estas zonas agroecológicas se utilizan para informar la planificación y el mantenimiento de la agricultura sostenible, así como la seguridad alimentaria a nivel global.

Clasificación de las zonas agroecológicas en Colombia

El objetivo de la zonificación agroecológica en Colombia es proporcionar información detallada sobre las características de las diferentes zonas del país y su potencial para la producción agrícola y ganadera. Esto permite una planificación adecuada y una toma de decisiones informada para el adelanto rural sostenible y la conservación de los recursos naturales.

En efecto, utiliza la metodología de zonificación agroecológica desarrollada por el IGAC, que se basa en el análisis integrado de múltiples factores como la topografía, el clima, el suelo, la hidrología y la vegetación, para definir las diferentes zonas agroecológicas del país.

Colombia cuenta con seis provincias de humedad y veinticuatro zonas de vida, las cuales deben tenerse en cuenta al evaluar las áreas homogéneas de tierra. Para determinar las transiciones de zonas de vida, es necesario considerar el piso térmico y/o altitudinal de la zona evaluada y para una mayor precisión, se recomienda utilizar información de las estaciones meteorológicas presentes en la zona (IGAC, 2001).

Por su parte, la evaluación del relieve en áreas homogéneas de tierras se realiza considerando sus formas y el grado de pendiente en porcentaje. Esta evaluación se relaciona con la dificultad que exhibe el terreno para la realización de labores y mecanización de la tierra. En cuanto a la clasificación de pisos térmicos estos varían en función de la altitud en la región tropical del país. En las tablas 3.2, 3.3 y 3.4., se especifica la clasificación de las variables utilizadas como el piso térmico, la provincia de humedad y la pendiente.

Tabla 3.2
Unidades climáticas

Pisos térmicos msnm	Precipitación promedio anual mm	Unidad climática	Distribución lluvias
Cálido 0 -1000	< 500	Cálido árido	Incompletas durante todo el año, las temperaturas logran con frecuencia promedios de 30°C. No admite cultivos.
	500 – 1.000	Cálido muy seco	Incompletas en los 2 semestres, las temperaturas con frecuencias promedio mayores a 30°C. No admite determinados cultivos.
	1.000 – 2.000	Cálido seco	Bastantes en un semestre y deficientes en el otro. Temperatura media promedio de 27°C Deficientes o escasas en el año. Temperatura promedio de 27°C.
	2.000 – 4.000	Cálido húmedo	Bastantes en los dos semestres. Temperatura promedio de 28°C. Permite cultivos prolongados. Suficientes un semestre y deficiente en el otro.
	4.000 – 8.000	Cálido muy húmedo	Abundantes en los 2 semestres. Temperatura promedio de 25°C. Admite ciertos cultivos concretos.
	> 8.000	Cálido pluvial	Altamente excesivas en los 2 semestres. Temperatura promedio de 25°C. No admite cultivos.

Pisos térmicos msnm	Precipitación promedio anual mm	Unidad climática	Distribución lluvias
Medio 1000–2000	250 – 500	Medio muy seco	Insuficientes o escasas en el año.
	500 – 1.000	Medio seco	Bimodal. Bastantes en un semestre y deficientes en el otro. Temperatura promedio de 20°C.
	1.000 – 2.000	Medio húmedo	Bastantes en los dos semestres. Temperatura promedio 21°C. Admite cultivos continuos.
	2.000 – 4.000	Medio muy húmedo	Suficientes en los dos semestres. Temperatura promedio de 21°C. Admite cultivos continuos.
	> 4.000	Medio pluvial	Excesivas en los dos semestres. Temperatura promedio de 22°C. Admite ciertos cultivos continuados.
Frío 2000 – 3200	500 – 1.000	Frío seco	Bastantes en un semestre y deficientes Temperatura promedio de 15°C
	1.000 – 2.000	Frío húmedo	Bastantes en los dos semestres. Temperatura promedio de 16°C. Admite cultivos extendidos
	2.000 – 4.000	Frío muy húmedo	Bastantes en un semestre y excesivas en el otro. Temperatura promedio de 15°C. Admite ciertos cultivos
	> 4.000	Frío pluvial	Excesivos en los dos semestres. No admite cultivos. Su uso es para zonas preservadas.
Muy frío (Páramo bajo) 3000 – 3600	500 – 1.000	Muy frío húmedo	Bastantes en los dos semestres. Temperatura promedio de 9°C. Admiten cultivos anuales. Frecuentes heladas.
	1.000 – 2.000	Muy frío muy húmedo	Bastantes en un semestre y excesivas en el otro. Temperaturas promedio de 9°C. No admite cultivos.
	> 2.000	Muy frío pluvial	Abundantes en los dos semestres. Temperatura promedio de 9°C. Admite ciertos cultivos específicos.
Extremadamente frío (Páramo alto) 3600 – 4200	< 500	Extremadamente frío, húmedo	Excesivas todo el año. Temperaturas promedio menores a 8°C. No admite cultivos
	500 – 2.000	Extremadamente frío, muy húmedo	Excesivas todo el año. Temperaturas muy bajas inferiores a 8°C. No admite cultivos.
	> 2.000	Extremadamente frío, pluvial	Excesivas todo el año. Temperaturas inferiores a 8°C. No permite cultivos

Pisos térmicos msnm	Precipitación promedio anual mm	Unidad climática	Distribución lluvias
SUBNIVAL 4200 a 4700	No aplica	Subnival	
NIVAL > 4700	No aplica	NIVAL	

Fuente: IGAC (2021).

Tabla 3.3

Formas del relieve y grados de la pendiente

Formas simples	Formas compuestas	Gradiente pendiente en %
Ligeramente plano		Inferiores al 3
Ligeramente inclinada	Ligeramente ondulada	3 -7
Moderadamente inclinada	Ondulada o ligeramentequebrada	7 – 12
Fuertemente inclinada	Fuertemente ondulada o moderadamente quebrada	12 -25
Ligeramente escarpada	Fuertemente quebrada	25 – 50
Moderadamente escarpada	Moderadamente empinada	50 - 75
Fuertemente escarpada	Fuertemente empinada	> 75

Fuente: IGAC (2021).

Tabla 3.4

Zonas de vida o formaciones ecológicas

Provincias de humedad	Zonas de vida	Biotemperatura promedio anual °C	Precipitación anual (mm)
ÁRIDA	Matorral desértico	22 -24	125 – 250
	Subtropical		
	Monte espinoso	22 -24	250 – 500
	Subtropical		
SEMIÁRIDA (Muy seca)	Bosque muy seco	>24	500 – 1.000
	Tropical		
	Monte espinoso	18 -24	250 – 500
	Premontano		
SUBHÚMEDA (Seca)	Bosque seco	22 – 24	500 – 1.000
	Subtropical		

Provincias de humedad	Zonas de vida	Biotemperatura promedio anual °C	Precipitación anual (mm)
	Bosque seco tropical	>24	1.000 – 2.000
	Bosque seco	18 -24	500 – 1.000
	Premontano		
	Bosque seco montano bajo	12 - 18	500 – 1.000
HÚMEDA	Bosque húmedo	>24	2.000 – 4.000
	Tropical		
	Bosque húmedo	18 -24	1.000 – 2.000
	Premontano		
	Bosque húmedo	12 – 18	1.000 – 2.000
	Montano bajo		
	Bosque húmedo	6 - 12	500 – 1.000
PERHÚMEDA (Muy Húmeda)	Bosque muy húmedo	> 24	4.000 – 8.000
	Tropical		
	Bosque muy húmedo	18 – 24	2.000 – 4.000
	Premontano		
	Bosque muy húmedo	12 – 18	2.000 – 4.000
	Montano bajo		
	Bosque muy húmedo	6 – 12	1.000 – 2.000
	Montano		
SUPERHÚMEDA	Bosque pluvial	> 24	> 8.000
	Tropical		
	Bosque pluvial	18 -24	> 4.000
	Premontano		
	Bosque pluvial	12 – 18	> 4.000
	Montano bajo		
	Bosque pluvial	6 -12	> 2.000
	Montano		
	Páramo pluvial	3 – 6	> 1.000
	Subalpino		
	Tundra pluvial alpina	< 3	< 500
Nival	< 1.5	No aplica	

Fuente: IGAC (2021).

Según estudios realizados por IGAC (2001) la mayoría de las zonas agroecológicas colombianas se encuentran en el piso térmico cálido (512), que corresponde al 80% del área continental del país; se identificaron 222 zonas en el piso térmico medio, con una participación del 8,9% y 141 zonas en el piso térmico frío, que cubren el 6,6% del territorio colombiano.

Asimismo, las provincias de humedad más predominantes son la húmeda, muy húmeda y pluvial, las cuales abarcan el 80% del área continental del país. La provincia húmeda es la más extensa, cubriendo una superficie de 59.616.232 ha (52,3%). Por otro lado, las zonas con provincias árida, semiárida, muy seca y seca ocupan el 18% del área continental del país, con una extensión total de 20.559.127 ha.

A su vez, el estudio identificó que hay 430 zonas agroecológicas con relieves que van desde planos hasta fuertemente quebrados, con pendientes inferiores al 25%, abarcando el 62,4% del territorio nacional. Por otro lado, hay 498 zonas agroecológicas con pendientes superiores al 25%, lo que representa el 35,8% del área continental del país.



**Análisis y revisión de información
secundaria sobre los aspectos
biofísicos de la provincia de
Pamplona**



Análisis y revisión de información secundaria sobre los aspectos biofísicos de la provincia de Pamplona

Introducción

La provincia de Pamplona ubicada en el departamento de Norte de Santander, Colombia, se ubica en un área entre la cordillera Oriental y la llanura del Magdalena, lo que le da características biofísicas particulares que la hacen única. Desde un punto de vista climático la convierte en una zona de dominio de los vientos alisios del Noreste, lo que se traduce en una variabilidad climática que va desde la humedad extrema hasta la sequía (Corponor, 2016).

En términos de relieve, se encuentra conformada por una serie de sierras y cordilleras, con altitudes que oscilan entre los 800 y los 3500 msnm. Estas características topográficas hacen que la región tenga una gran diversidad de pisos térmicos, que van desde los cálidos y húmedos hasta los fríos y secos. Asimismo, la provincia de Pamplona se determina por la presencia de una gran variedad de tipos de suelos, con una amplia gama de texturas, colores y propiedades físicas, así como por la gran multiplicidad de especies de flora y fauna endémicas y amenazadas. Los ecosistemas presentes en la región incluyen páramos, bosques húmedos y secos, humedales, entre otros (Corponor, 2016).

Es por ello, por lo que se hace necesario recopilar, revisar y analizar información para obtener una visión integral y actualizada de las condiciones biofísicas de la zona de estudio. En efecto, la revisión de información se vuelve imprescindible debido a la extensión del territorio y la diversidad de sus componentes físicos y biológicos. El uso de dicha información permitirá obtener una visión general de la provincia,

incluyendo aspectos como el clima, los recursos hídricos, el suelo y las zonas agroecológicas, lo que facilitará la identificación de problemas y oportunidades para la planificación, por ejemplo, del desarrollo territorial. Más bien, a partir de un diagnóstico biofísico se pueden establecer zonas de protección ambiental, zonas de aprovechamiento agrícola o forestal, o áreas para la implementación de infraestructuras y servicios públicos, entre otras opciones contribuyendo así, a una planificación y gestión del territorio de manera sostenible y equilibrada.

Por consiguiente, el presente estudio tiene como objetivo revisar, recopilar y analizar información secundaria para identificar los aspectos biofísicos de la provincia de Pamplona con la finalidad de obtener una comprensión más completa de las características y particularidades de dicha región, lo que permitirá tomar decisiones más informadas y acertadas en cuanto a su desarrollo territorial.

Es fundamental tener en cuenta que la planificación, el desarrollo económico y social deben estar en armonía con las características biofísicas del territorio, con el objetivo de garantizar su sostenibilidad y preservación a largo plazo. Por lo tanto, la revisión, recopilación y análisis de información biofísica es una herramienta esencial y un paso previo fundamental para el diseño y estrategias de políticas públicas.

Contexto general

Características del departamento de Norte de Santander

El departamento Norte de Santander se ubica al nororiente de la República de Colombia, limitando al norte y oriente con la República Bolivariana de Venezuela (Figura 4.1). Al sur, limita con los departamentos de Boyacá y Santander y al occidente con el departamento de Cesar. Su superficie total es de 21.658 Km², lo que representa el 1,89% del área total de Colombia (Corponor, 2016). Según datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en el año 2024 la población alcanzará la cifra de 1.658.835 habitantes distribuidas en un 79,4% en las cabeceras municipales, mientras que el 20,6% restante

residirá en las zonas rurales (DANE, 2021).

Asimismo, aporta alrededor del 1,5% al Producto Interno Bruto (PIB) del país y los sectores más representativos son la Administración Pública, Educación y Salud, que representan el 24,5% del PIB del departamento, seguido por el sector Comercial con el 18,6%, y el sector Agrícola con el 10,6%. En efecto, tres cuartas partes equivalentes al 75% del PIB departamental de Norte de Santander, son aportados por los municipios de Cúcuta, Ocaña, Villa del Rosario, Tibú y Los Patios (DANE, 2021).

Por su parte, el 18,43% de la población se encuentra en situación de necesidad básica insatisfecha lo cual significa que las personas no tienen disponibilidad de servicios básicos como agua potable, saneamiento, vivienda adecuada y educación. Además, el 4,73% de la población se encuentra en medio de pobreza extrema, lo que implica que no tienen acceso a recursos suficientes para cubrir sus necesidades básicas de alimentación, salud y educación (DANE, 2021).

Figura 4.1

Ubicación del departamento en el país.



Fuente: Adaptado de Plan de Desarrollo para Norte de Santander, 2016-2019

En cuanto a su división administrativa, el departamento se encuentra organizado en seis subregiones (Figura 4.2) para un total de 40 municipios y 108 corregimientos. La primera subregión se refiere al Oriente conformada, entre otros, por los municipios de Cúcuta y Los Patios, cuyo principal centro urbano es la localidad de Cúcuta, capital del departamento; la subregión Suroccidental, conocida como la provincia de Pamplona; la Occidental conformada por ocho municipios, la subregión Suroriental y el Centro cada uno con siete municipios y finalmente la subregión del Norte, que está compuesta por cuatro municipios (Corponor, 2016).

Figura 4.2

Subregiones del departamento Norte de Santander.



Fuente: Adaptado de Plan Estratégico Ambiental Regional, 2016-2019.

Aspectos biofísicos del departamento Norte de Santander

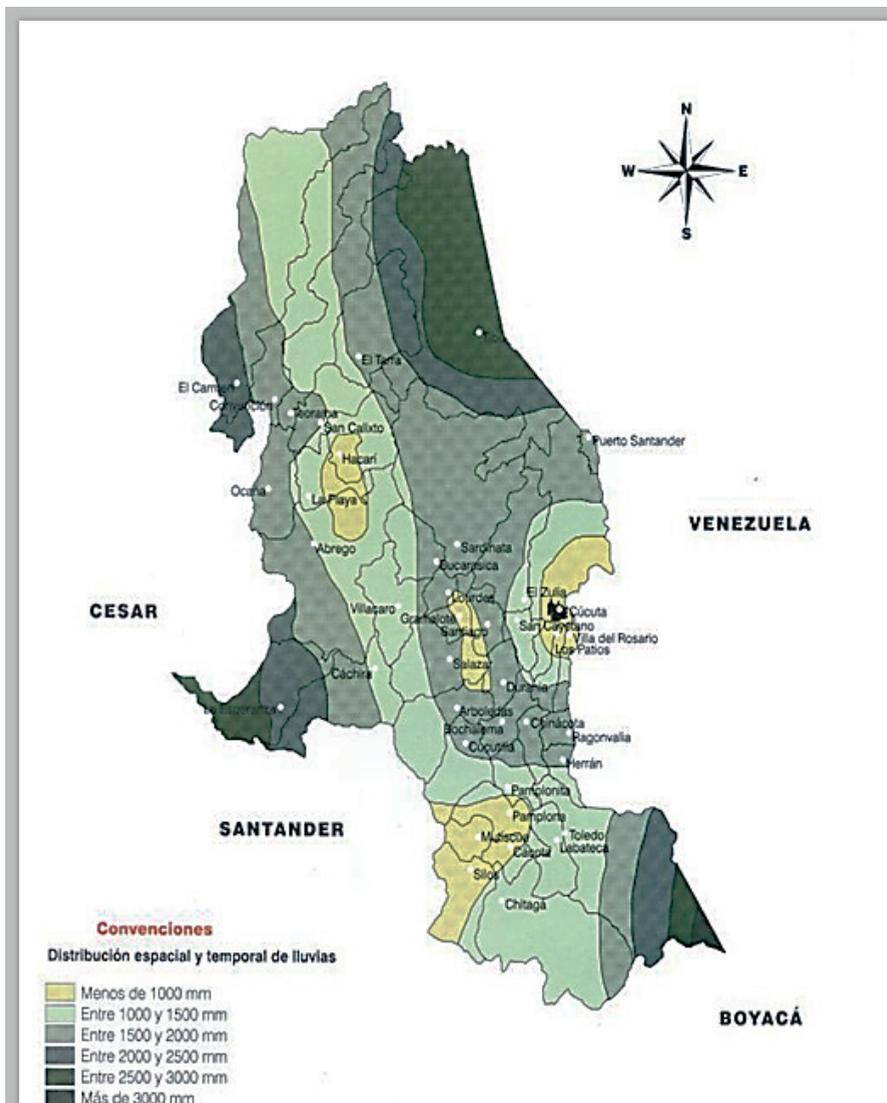
El departamento se caracteriza por ser mayoritariamente montañoso y su relieve está marcado por la presencia de la cordillera Oriental, conformado por tres regiones naturales bien diferenciadas. En primer lugar, se encuentra la región más quebrada, que se extiende desde el Nudo de Santurbán hacia el Norte, donde se transforma en la Serranía de Los Motilones. Esta zona es muy montañosa y cuenta con áreas

cubiertas de selva. En segundo lugar, del Nudo de Santurbán hacia el sur, se desprenden una serie de cadenas montañosas que dan lugar a páramos como el de Presidente y hacia la frontera con Venezuela, se encuentra el páramo de Santa Isabel, alcanzando alturas de hasta 3.329 m.s.n.m. Gran parte de los ríos que se originan en esta región, forman parte de la cuenca del río Orinoco y conforman el río Arauca (Corponor, 2016). Por último, se encuentra la parte plana del departamento, representada por las llanuras de las cuencas de los ríos Zulia y Catatumbo, ubicadas al noroeste. Estas llanuras son muy húmedas y cuentan con altas precipitaciones y su población se encuentra bastante dispersa. En esta región se encuentran el parque Binacional del Tamá y las reservas indígenas de las etnias U'was (Corponor, 2016; Méndez, 1997).

El clima del departamento es tropical y está influenciado por la altitud y el relieve variado. Las altitudes varían desde menos de 100 metros sobre el nivel del mar en el Noreste del departamento, en las cuencas del río Catatumbo y del río Magdalena, hasta más de 4.000 m.s.n.m, en los páramos del sur del departamento. Tibú con una altitud de 75 m.s.n.m, y El Zulia con una altitud de 220 m.s.n.m., son las cabeceras municipales situadas a menor altitud. En cambio, Mutiscua y Silos son las cabeceras municipales situadas a mayor altitud, con alturas de 2.600 y 2.700 m.s.n.m., respectivamente (IDEAM, 2023).

En la región se presentan dos regímenes de precipitación (Figura 4.3) siendo el régimen bimodal el más común, que se caracteriza por tener dos estaciones de lluvias al año. La primera temporada se extiende de marzo a junio, mientras que la segunda va de septiembre a noviembre en la cuenca del Catatumbo. Por su parte, el régimen monomodal que se presenta únicamente en el municipio de Chitagá, ubicado en la subregión Suroccidental, en la cuenca del Orinoco. En esta zona, el periodo de lluvias se extiende incluso por nueve meses (IDEAM, 2023).

Figura 4.3
Distribución de lluvias del departamento.



Fuente: Adaptado de Plan Estratégico Ambiental Regional, Corponor, 2016.

La diversidad de relieves de montaña en Norte de Santander genera una variación climática que se refleja en diferentes pisos térmicos. El piso cálido se extiende desde los 50 hasta los 1.000 m.s.n.m, con una temperatura promedio anual superior a los 24°C y abarca alrededor del 49,3% del territorio. El piso medio se encuentra entre los 1.000 y los 2.000 m.s.n.m, con una temperatura promedio anual entre 18 y 24°C, cubriendo el 27% del territorio. El piso frío se encuentra ubicado entre los 2.000 y los 3.000 m.s.n.m, con una temperatura media anual de 12 a 18°C, abarcando el 16% del territorio. En general, las amplias variaciones de temperatura en Norte de Santander dan lugar a una variedad climática, desde el cálido hasta el extremadamente frío, lo que permite una gran diversidad de actividades y cultivos en la región (Corponor, 2016; Méndez, 1997).

Asimismo, cuenta con un extenso sistema hidrográfico, conformado por tres cuencas fundamentales: la del río Catatumbo al norte, la del río Magdalena al oeste y la del río Orinoco al suroeste. Estas cuencas son de gran importancia para la región, ya que proveen de agua a las comunidades y soporte para actividades del sector agropecuario.

Contexto del sector agropecuario del departamento Norte de Santander

En el departamento de Norte de Santander, el aspecto agrícola es clave en la economía, contando con un amplio número de unidades de producción agrícola (UPA) que generan empleo y desarrollo en la región. De las 59.880 UPA existentes en el departamento, el principal tipo de tenencia es propia (81%) y el área rural dispersa con uso agrícola (196 millones de hectáreas) se concentra en su mayoría en tamaños de 10 a menos de 50 con el 33% (DANE, 2017) como se observa en la Tabla 4.1.

Ahora bien, la mayoría del uso del suelo (70%) está destinado a actividades pecuarias, seguido de los bosques naturales y la agricultura. En particular, un porcentaje significativo del área agrícola (13,1%) se utiliza para cultivar frutas. En concreto, se asignan 20.619 hectáreas

para la siembra y 17.943 hectáreas para la cosecha de estos cultivos (DANE, 2017).

Tabla 4.1

Área rural dispersa con uso agrícola Norte de Santander

Tamaño del área agrícola (ha)	Norte de Santander (ha)	Participación Total Departamental (%)
Menores de 5,0	13.448,3	6,83%
5 a menos de 10	16.781,4	8,53%
10 a menos de 50	64.946,0	33,02%
50 a menos de 100	21.636,2	11,01%
100 a menos de 500	23.018,2	11,71%
De más de 500	56.842,9	28,90%
Total	196.673,8	100%

Fuente: DANE (2017).

En cuanto a la población que reside en las UPA estas se concentran en la edad entre los 30 y 74 años (87%), con una predominancia del género masculino y un nivel educativo básico primario, lo que podría representar un desafío en términos de acceso a tecnologías y técnicas avanzadas para la producción agrícola (DANE, 2017).

Contexto de la provincia de Pamplona

La provincia de Pamplona se localiza en la parte suroccidental del departamento Norte de Santander (Figura 4.4), en Colombia, y está compuesta por seis municipios: Chitagá, Cácosta, Silos, Mutiscua, Pamplonita y Pamplona. La región es conocida por su gran patrimonio natural y cultural, rodeada de majestuosas montañas y atravesada por numerosos ríos y quebradas. Además, cuenta con un importante patrimonio histórico y arquitectónico; compuesto por monumentos y edificaciones coloniales que se destacan por su belleza y valor histórico.

Figura 4.4
Provincia de Pamplona.



Fuente: Adaptado de Plan de Desarrollo para Norte de Santander, 2016-2019.

En conjunto, los seis municipios que conforman la provincia de Pamplona tienen una población total de 87.718 habitantes, distribuidos entre la zona rural y urbana. Es importante destacar que la ciudad de Pamplona es la capital de la provincia y cuenta con la mayor cantidad de población urbana con 54.930 habitantes, lo que representa el 62,62% de la población total de la subregión (DANE, 2023). El comercio es el sector económico predominante en la ciudad, con un 70%, seguido de los servicios con un 25%. El sector industrial y agrícola tienen una menor participación, representando el 5% restante (Cancino-Escalante, Cancino & Quevedo, 2020).

Tabla 4.2*Población por municipio en la provincia de Pamplona en el 2022*

Municipio	Población urbana	% de la población total	Población rural	% de la población total	Población Total
Pamplona	51.048	58,19	3.882	4,43	54.930
Pamplonita	1.281	1,46	4.622	5,27	5.903
Silos	1.015	1,16	5.655	6,45	6.670
Cácota	1.034	1,18	1.935	2,21	2.969
Mutiscua	919	1,05	3.698	4,22	4.617
Chitagá	4.874	5,56	7.755	8,84	12.629
Total	60.171	68,60	27.547	31,40	87.718

Fuente: DANE (2023).

La economía de los otros cinco municipios de la subregión se basa principalmente en la agricultura y la actividad pecuaria, y se identifica por la presencia de pequeños minifundios y parcelas. Según los datos del Censo Nacional Agropecuario, en la zona rural de estos municipios se encuentran un total de 4898 unidades de producción agropecuaria y el municipio de Chitagá se destaca por contar con la mayor cantidad representando un 44% (DANE, 2017).

Por su parte, la preeminencia de los predios pequeños de 5 hectáreas se presenta en los municipios de Cápota y Mutiscua, donde superan el 60% en promedio (DANE, 2017). Estos minifundios se caracterizan por estar en zonas de laderas, factor que limita la posibilidad de mecanización y adecuación de tierras. Asimismo, estos municipios presentan un promedio de densidad demográfica inferior a los 30 habitantes por kilómetro cuadrado debido a su carácter rural y a las restricciones impuestas por el medio físico natural. Igualmente, enfrentan dificultades en cuanto a los accesos y los servicios básicos, así como desequilibrios en la oferta de empleo y alteraciones del orden público, lo que impacta en una menor calidad de vida y bajos ingresos fiscales.

En cuanto al uso de la tierra en la provincia de Pamplona, se puede observar diferentes patrones según la subregión. En la zona urbana, la

tierra está destinada principalmente a la construcción de viviendas, infraestructuras y servicios públicos. En contraste, en las áreas rurales de la provincia el uso de la tierra se divide en áreas de bosques naturales, agropecuarias y no agropecuarias cómo se observa en la Tabla 4.3. En cuanto a la distribución de la zona rural en la provincia de Pamplona, se observa que Chitagá es el municipio con mayor extensión de zona rural dispersa, representando el 53% del total, seguido por Silos con el 15% y Pamplona con el 12%. Es importante mencionar que la presencia de área de bosque natural es predominante en todos los municipios de la provincia, lo que indica que son importantes debido a su biodiversidad y por su función en la regulación del clima y el mantenimiento de la calidad del aire y del agua (DANE, 2017).

Tabla 4.3

Uso de la tierra en la provincia de Pamplona.

Municipio	Bosque Natural (ha)	Agropecuaria	No Agropecuaria	Total
Pamplona	15.133,4	8.657,2	1.334,9	25.125,50
Pamplonita	2.611	11.522	2.299	16.432
Silos	7.487	22.137	1.835	31.459
Cácota	5.745	6.009	817	12.571
Mutiscua	6,471	7.975	1.484	9.465,47
Chitagá	89.299	15.207	3.187	104.693
Total	120.281,87	71.507,20	10.956,90	202.745,97

Fuente: DANE (2017).

Más bien, es importante destacar que la actividad agropecuaria es fundamental para la economía de la región y es una de las fuentes primordiales de ingresos y empleo para la población rural. En este sentido, la empresa campesina es una pequeña unidad agrícola, con la tierra apenas suficiente para proporcionar empleo regular al productor y su familia, con empleo ocasional de trabajadores asalariados en las épocas críticas de necesidad de mano de obra y con venta ocasional de trabajo de los miembros de la familia, siendo el objetivo principal de la explotación la satisfacción de las necesidades de reproducción y

conservación de la familia y del capital. En este contexto, la unidad económica no es la finca sino la familia campesina, donde trabajo y consumo, autoridad económica y familiar están radicadas en las mismas personas. El productor rural está vinculado a la tierra como propietario, arrendatario, aparcerero o colono, siendo la propiedad la forma tenencia la más común. Es interesante notar que una de las formas de recomposición del campesinado se da cuando éste se va convirtiendo en propietario de la tierra que trabaja.

En el proceso productivo de las unidades económicas familiares, se utiliza primero que todo la propia fuerza de trabajo que proporciona la familia. A medida que se da un desarrollo de fuerzas productivas se aumenta la productividad, se diversifica la producción y se amplía la base de comercialización de los productos de la finca, resulta entonces insuficiente la mano de obra que proporciona la familia. Es necesario entonces acudir a la contratación de trabajadores asalariados.

La mano de obra familiar en el contexto de la pequeña producción constituye uno de los mecanismos por los cuales los individuos se integran a la sociedad. La particularidad fundamental del núcleo campesino es que se comporta como una unidad de producción y consumo. Cada individuo de la unidad contribuye en el proceso de producción desde temprana edad y tiene asignada una función productiva. En este sentido, la finca es a la vez una unidad económica y un hogar.

Es así como la preponderancia de la pequeña y mediana propiedad en el sector agropecuario del departamento, representando el 12,4% de la superficie total, puede tener un impacto significativo en el desarrollo económico (DANE, 2017). Esto se debe a que la producción de estas unidades agrícolas es limitada en comparación con las grandes extensiones de tierra dedicadas a la agricultura y ganadería en otras zonas. Para fomentar un mayor desarrollo y crecimiento en el sector agropecuario, es necesario implementar políticas y programas que apoyen a los productores locales y les permitan aumentar su productividad y competitividad. De esta manera, se podrían optimizar las condiciones de vida e incrementar los ingresos de los productores, al mismo tiempo que se contribuye al desarrollo económico del departamento.

En cuanto a la infraestructura vial esta es una base fundamental e imprescindible para garantizar el desarrollo regional, ya que es la red de carreteras la que determina el grado de integración de las diferentes zonas geográficas. Esto es especialmente importante en el sector agropecuario, dado que la red vial es la que facilita el transporte de los productos y servicios y asegura un equilibrio en las condiciones de intercambio. En este sentido, la calidad de las carreteras y su accesibilidad son factores determinantes en la competitividad y sostenibilidad de la actividad.

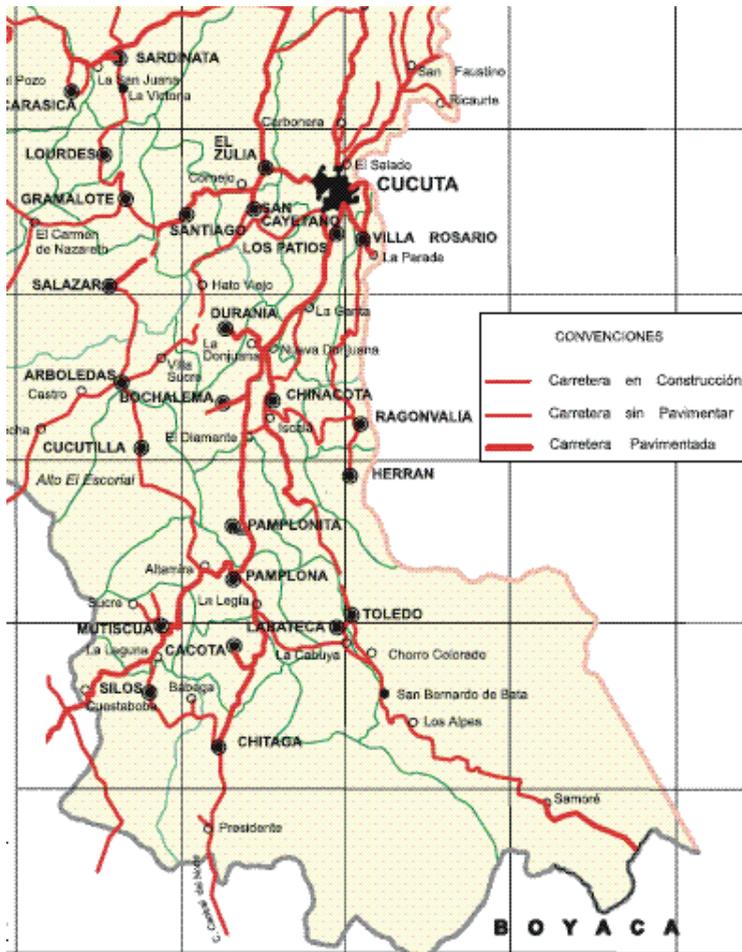
La conexión de la provincia de Pamplona con el resto del país se realiza principalmente a través de una importante red vial que vincula la capital de la provincia con el centro del país, lo que ubica al municipio de Pamplona en una posición privilegiada en términos de acceso a servicios y gestión de instituciones en las capitales de Santander y Norte de Santander.

Sin embargo, los demás municipios de la provincia dependen en gran medida de este municipio para llevar a cabo el intercambio comercial secundario, donde los productos son transportados a Pamplona para ser comercializados en los mercados de Norte y Santander. Además, en Pamplona se concentran las materias primas y la tecnología provenientes del interior del país, lo que también influye en la dinámica económica de los demás municipios de la provincia. En este sentido, la infraestructura vial es esencial para el desarrollo regional, ya que determina el grado de integración de las diferentes zonas y es clave para el flujo de productos agropecuarios y la oferta de servicios en la provincia de Pamplona.

Del total de vías del departamento, la provincia cuenta con 168 km de red primaria compuesta por carreteras nacionales, 125 km de red secundaria, que conectan los centros poblados y los corregimientos con las cabeceras municipales, así como comunidades aledañas. Esta red es administrada por los municipios y departamentos y su importancia radica en que permite el acceso a servicios básicos y a la comercialización de productos locales, lo que favorece al desarrollo económico y social de las regiones y finalmente, 51 km de red terciara conformada

por vías que conectan las áreas rurales con las carreteras de la red secundaria y primaria, para un total aproximado de 344 Km (Figura 4.5) (Corponor, 2016).

Figura 4.5
Vías de la provincia de Pamplona.

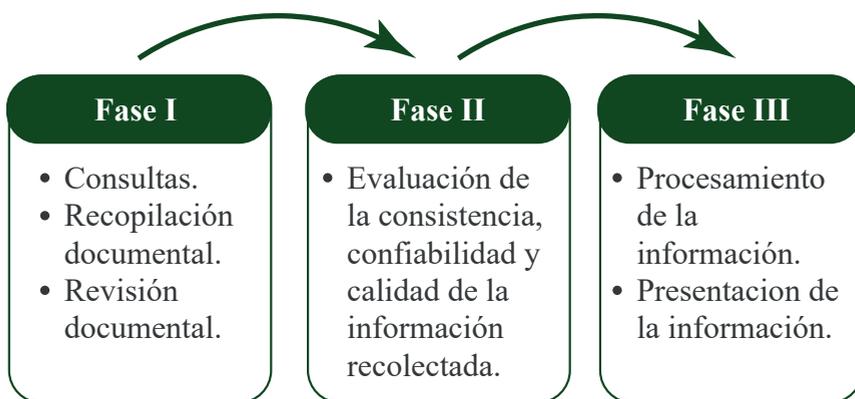


Fuente: Plan de Desarrollo para Norte de Santander (2016-2019).

Metodología

El estudio se caracterizó por ser no experimental, cuantitativo y descriptivo. Es decir, se llevó a cabo dentro de un período específico, no implicó la manipulación de las variables bajo estudio y el enfoque consistió en "observar los fenómenos tal y como se dan en su contexto natural" (Hernández, Collado & Baptista, 1997, p. 246), con el objetivo de caracterizar y comprender el fenómeno estudiado. Se llevó a cabo en tres etapas. En la primera etapa, se realizaron consultas y se recopiló información de fuentes secundarias; en la segunda se evaluó la consistencia y confiabilidad de la información y en la última fase, se procesó y se presentó la información (Figura 4.6).

Figura 4.6
Etapas de la investigación.



Fuente: Elaboración propia (2023).

Revisión y recopilación de la información

Consistió en realizar una búsqueda en la literatura existente sobre la caracterización biofísica de la provincia de Pamplona con el objetivo de identificar y evaluar el estado actual del conocimiento sobre dicha temática. Para ello se recopiló información consignada por entidades provenientes de diversas entidades a nivel nacional e internacional, tanto públicas y privadas. Entre estas entidades se incluyen autoridades

encargadas del manejo ambiental y del ordenamiento territorial, revistas especializadas y gremios relacionados de forma directa o indirecta con el tema de estudio, como la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR), la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, (CORPOICA) el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Secretaría de Agricultura de los municipios, la Cámara de Comercio de Pamplona y las organizaciones del sector agropecuario de los municipios.

Evaluación de la información

Se evaluó la calidad, relevancia y confiabilidad de la información recopilada con la finalidad de utilizarla de manera efectiva y pertinente. Por lo tanto, se compararon y contrastaron las diferentes fuentes, además se verificó su precisión, es decir, que no presentara contradicciones o discrepancias y que fuera consistente, así como coherente.

Presentación de la información

Luego de la recopilación y evaluación de la información, se procedió a realizar el diagnóstico y la posterior presentación de los resultados obtenidos. En cuanto al análisis de los datos se utilizó el software Excel para llevar a cabo el procesamiento y análisis de la información. Además, se realizaron revisiones y validaciones, con el fin de garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados presentados. Se buscó en todo momento ofrecer una presentación detallada y rigurosa de los resultados, para que los mismos pudieran ser comprendidos y utilizados por los interesados en el tema de estudio.

Variables asociadas a las características biofísicas

Se tuvo en cuenta tanto información secundaria general como especializada, relacionada con las temáticas de climatología, recursos hídricos y el suelo, especificadas a continuación.

Climatología

Se realizó una revisión de la información disponible sobre la climatología de la provincia de Pamplona, a través de los registros documentales y de las estaciones climáticas cercanas, proporcionados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Las variables evaluadas a partir de la información disponible fueron la temperatura del aire, la humedad, la precipitación y los pisos térmicos. Estas variables fueron seleccionadas debido a su importancia en la comprensión del clima de la región y sus implicaciones en las actividades y proyectos desarrollados dentro de sus áreas geográficas.

Recursos hídricos

En cuanto a los recursos hídricos en la zona, se consideraron como variables principales las cuencas hidrográficas y los ríos presentes con el fin de obtener información sobre la disponibilidad del agua y su potencial uso para fines económicos, ambientales y sociales.

Suelos

En este caso se eligieron las características químicas de los suelos como el pH, la materia orgánica y los contenidos de fósforo, calcio, magnesio, potasio, azufre y zinc, los cuales son fundamentales para la toma de decisiones en la planificación del uso y manejo del suelo, la gestión del riesgo, así como la adaptación al cambio climático. Para el entendimiento de las características químicas del suelo, la escala de valores se encuentra especificada en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4

Escala de valores

Característica	Categorías		
	Bajo	Medio	Alto
pH del suelo	3,5-5,5	5,6-6,6	> 6,6
Materia orgánica (%)	<5,0	5,0-15,0	15,1-31,0
Calcio Meq/100 gr de suelo	<2,2	2,02-6,0	>6,0

Característica	Categorías		
	Bajo	Medio	Alto
Potasio Meq/100 gr de suelo	<0,20	0,20-0,40	>0,40
Magnesio	<2,0	2,0-3,0	>3,0
Fósforo (ppm)	<20	20-40	>40
Azufre (ppm)	<5,0	5,1-10	>10
Zinc (ppm) <5,0	<1,40	1,5-3,0	>3,0
Boro	<0,20	0,21-0,50	>0,50

Fuente: Adaptado de Estado de fertilidad de los suelos de la provincia de Pamplona, Pabón, García y Méndez, 1998, publicado por Corpoica.

Zona de vida de Holdridge

Las variables utilizadas en la clasificación de las zonas de vida de Holdridge fueron la altitud, la temperatura media anual y la precipitación proporcionadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Zonas agroecológicas

De la información recolectada, se seleccionaron tres variables fundamentales para comprender las características biofísicas de las zonas agroecológicas: los pisos térmicos, la provincia de humedad y la pendiente del terreno, que pueden influir en la erosión del suelo, la retención de agua y la capacidad de soportar diferentes prácticas de manejo agrícola.

Área del estudio

El estudio se centra en la provincia de Pamplona, georreferenciada en el departamento de Norte de Santander, Colombia. Se compone de seis municipios, cuyas características generales se presentan en la Tabla 4.5. Se destaca que la misma tiene una extensión territorial de 2175 Km², lo que representa aproximadamente el 11% del área total del departamento.

Tabla 4.5

Características generales de los municipios de la provincia de Pamplona

Municipio	Categorías			
	Longitud al oeste de Greenwich	Latitud norte	Área territorial	% Área en el Dpto.
Pamplona	72° 39'	7° 23'	318 km ²	1,46%
Pamplonita	72° 39'	7° 26'	179 km ²	0,82%
Chitagá	72° 40'	7° 08'	1.172 km ²	5,41%
Cácota	72° 39'	7° 16'	137 km ²	0,63%
Mutiscua	72° 45'	7° 18'	159 km ²	0,73%
Silos	72° 46'	7° 13'	382 km ²	1,76%

Fuente: Corponor (2016).

Resultados del estudio y análisis de la información

Análisis climático de la provincia de Pamplona

El clima es un factor determinante en los diversos aspectos físicos, bióticos y socioeconómicos ya que influye directamente en la evolución de los suelos, el paisaje, los ecosistemas y en la utilización de las tierras para diferentes fines. Asimismo, es un insumo importante en la determinación de los peligros naturales y para la planificación de las actividades productivas en una región.

En línea con lo mencionado anteriormente sobre la importancia del clima en diversos aspectos, la disponibilidad de datos precisos se vuelve fundamental para comprender y monitorear los patrones climáticos locales. En este sentido, actualmente la provincia cuenta con seis estaciones meteorológicas (Tabla 4.6) tipo Pluviométricas (PM), Climatológicas Ordinarias (CO) y Agrometeorológicas (AM) que tienen como función recopilar datos sobre la precipitación, la humedad y la temperatura, entre otros (IDEAM, 2023).

Tabla 4.6

Estaciones hidrometeorológicas

Estación	Municipio	Tipo	Elevación m.s.n.m.
Cácota	Cácota	PM	2.645
Chitagá	Chitagá	PM	2.410
Presidente	Chitagá	PM	3.320
Silos	Silos	CO	2.765
ISER	Pamplona	AM	2.340
Universidad de Pamplona	Pamplona	AM	2.362

Fuente: IDEAM (2023).

Precipitación

De acuerdo con los registros de las diferentes estaciones meteorológicas para el año 2022, se observa de manera general (Tabla 4.7) que el periodo de tendencia seca ocurrió durante el primer semestre del año, específicamente durante el periodo de enero a marzo y se agravó por la presencia de heladas en los meses de diciembre, enero y febrero generando pérdidas de los cultivos y restringiendo la obtención de pastos y forrajes afectando la producción ganadera de la región. Por otro lado, los periodos de tendencia de lluvia fueron más fuertes en Chitagá y Pamplona, concentrándose principalmente en el segundo semestre del año. Estos dos municipios reportaron el mayor nivel de precipitación con un total de 9.930 y 10.924, respectivamente (IDEAM, 2023).

Cabe destacar que el municipio de Chitagá presenta un régimen de lluvias monomodal, que se caracteriza por la presencia de una fase lluviosa y dos fases secas durante todo el año. La fase lluviosa se inicia en abril y se extiende hasta la mitad del mes de octubre y noviembre, con niveles de precipitación que oscilan entre 50 mm y 222 mm. Mientras tanto, la fase seca se presenta entre los meses de diciembre a marzo, con precipitaciones menores a los 100 mm mensuales (Ordenamiento Territorial de Chitagá, 1999). Por su parte, los demás municipios presentan un régimen de lluvias bimodal, caracterizado por la presencia de dos temporadas lluviosas al año, que van desde aproximadamente marzo a mayo y de septiembre a noviembre (IDEAM, 2023).

Tabla 4.7

Valores totales de precipitación (mm) para el año 2022

Mes	Cácota	Chitagá	Pamplona	Silos
Enero	2	26	188	3
Feb	2	197	542	241
Marzo	3	221	557	6
Abril	67	925	128	373
Mayo	111	1.981	1.628	549

Mes	Cácota	Chitagá	Pamplona	Silos
Mayo	111	1.981	1.628	549
Junio	34	1.141	1.151	395
Julio	93	1.758	746	734
Agosto	64	1.128	969	218
Septiembre	83	1.462	1.213	346
Octubre	46	928	1.782	802
Noviembre	47	144	2.009	848
Diciembre	0	19	11	62
Total	552	9.930	10.924	4.577

Fuente: IDEAM (2023).

Humedad

A pesar de que los registros disponibles únicamente corresponden a la estación meteorológica localizada en el municipio de Pamplona (ISER), la humedad relativa es una variable que generalmente presenta una variación moderada en el entorno ambiental. En este sentido, los datos proporcionados por esta estación son representativos para el análisis de la región de la provincia de Pamplona. Al analizar la conducta de la humedad relativa a lo largo del año 2022, se observó que los meses con mayores niveles de humedad fueron aquellos que oscilan entre 76% y 80%. En contraste, los meses relativamente menos húmedos (julio y agosto) presentaron valores del 72% (IDEAM, 2023).

Temperatura

La temperatura de la provincia (Tabla 4.8) que varía desde el 14°C hasta el 20°C, está fuertemente influenciada por la altitud, lo que se refleja en su comportamiento heterogéneo durante el año. En efecto, la región dispone de áreas en los tres pisos térmicos (templado, frío, páramo).

Tabla 4.8

*Temperatura y piso térmico de la provincia de Pamplona.
Características morfométricas e hidrográficas*

Municipio	Altitud casco urbano	Temperatura promedio	Piso térmico
Pamplona	2.287 m.s.n.m.	16° C	Páramo/Frío
Pamplonita	1.725 m.s.n.m.	20° C	Medio
Silos	2.700 m.s.n.m.	14° C	Páramo/Frío
Cácota	2.400 m.s.n.m.	16° C	Páramo/Frío
Mutiscua	2.600 m.s.n.m.	14° C	Páramo/Frío
Chitagá	2.300 m.s.n.m.	16° C	Páramo/Frío

Fuente: IDEAM (2023).

La provincia de Pamplona cuenta con una extensión de 93.750 hectáreas de piso térmico páramo, ubicado a una altitud superior a los 3.000 m.s.n.m. Esta región se caracteriza por tener temperaturas que oscilan alrededor de los 12°C. En los sectores más altos y montañosos, pueden incluso ser aún más bajas, llegando a valores inferiores a los 5,5°C. Estos sectores se ubican en la parte sur y oriental del municipio de Chitagá y al suroccidente del municipio Silos, en la zona limítrofe entre el municipio de Mutiscua y el departamento de Santander, como son el páramo Colorado, el páramo de Collagá, el páramo de Santurbán y el páramo de Almorzadero (Corponor, 2016; IGAC, 2007; Pabón, García & Méndez, 1998).

Por su parte, el piso térmico frío de la provincia de Pamplona se encuentra localizado entre los 2.000 y 3.000 m.s.n.m. y se componen de los municipios de Pamplona, Chitagá, Silos y Mutiscua que juntos abarcan una superficie de 186.576 hectáreas. Las temperaturas en esta zona suelen oscilar entre los 12°C y los 18°C (Corponor, 2016; Pabón; IGAC, 2007; García, Méndez, 1998).

Finalmente, se encuentra el piso térmico medio que se extiende entre los 1.000 y 2.000 m.s.n.m., y se identifica por presentar temperaturas promedio anuales de 23°C, con máximas medias de 28°C y máximas absolutas de 33°C. Las temperaturas mínimas anuales suelen ser de

alrededor de 15°C, con mínimas absolutas menores de 14°C. Este piso térmico está ubicado en la cordillera Oriental, y en la provincia de Pamplona abarca una superficie de 83.434 hectáreas el cual hace parte el municipio de Pamplonita (Corponor, 2016; IGAC, 2007; Pabón García, & Méndez, 1998).

Recursos hídricos de la provincia de Pamplona

La provincia de Pamplona se destaca por su sistema hidrográfico diverso y complejo, compuesto por dos cuencas de gran importancia. La cuenca hidrográfica del Catatumbo que incluye la subcuenca del río del mismo nombre, así como las subcuencas del río Pamplonita y El Zulia y por su parte la cuenca hidrográfica del Orinoco, con el río Margua (Corponor, 2016; IGAC, 2007; Méndez et al., 1997).

Ahora bien, el río Catatumbo, cuna de importantes recursos hídricos, abarca el 73,5% del territorio departamental, equivalente a una extensión de 2.000.400 hectáreas y nace en el centro de Macho Rucio, en el páramo de Jurisdicciones a una altura de 3.850 metros sobre el nivel del mar, al sur de la provincia de Ocaña. A lo largo de su recorrido, este río atraviesa la zona central de la provincia y desemboca en el lago de Maracaibo, en el país vecino de Venezuela. En su trayecto, el Catatumbo recibe aportes importantes de agua de diversos afluentes como los ríos Frío, de Oro, Tiradera, San Miguelito, entre otros, por la orilla izquierda y los ríos San Miguel, Tarra, Orú, Sardinata y Zulia, así como numerosas quebradas, por la banda derecha (Corponor, 2016; IGAC, 2007; Méndez et al., 1997).

Por su parte, el río Zulia, con una extensión de 522.600 hectáreas tiene su origen en una serie de ríos provenientes de lagunas ubicadas en el páramo de Cachirí, en el departamento de Santander, a una altitud de 4.220 m.s.n.m. en la cordillera Oriental de Los Andes. Este río atraviesa la provincia de Cúcuta y posteriormente fluye hacia la vecina República de Venezuela, donde converge en el lago de Maracaibo. Durante su recorrido, el río Zulia recibe varios afluentes, tales como el Cucutilla (cuyo nacimiento se encuentra en el páramo Sumalina), el Arbole-

das, el Salazar y el Peralonso, los cuales desembocan por la margen izquierda del río. Por su parte, el Pamplonita, junto con sus afluentes el Táchira y el de La Grita, son tributarios que se incorporan al río Zulia por su margen derecha (Corponor, 2016; IGAC, 2007; Méndez et al., 1997).

El río Pamplonita cuya extensión es de 137.524 hectáreas se origina en el cerro de Altogrande, en el páramo de Fontibón, en las afueras de Pamplona, a una altitud de 3.000 m.s.n.m. En su curso recoge las aguas de la quebrada La Honda y luego, fluye hacia el valle de Cúcuta, donde se une con el río Táchira. Finalmente, desemboca en el profundo río Zulia, que posteriormente dispersa sus aguas en el río Catatumbo, y este último desemboca en el lago de Maracaibo (Corponor, 2016; IGAC, 2007; Méndez et al., 1997).

Finalmente, el río Margua con una extensión de 424.600 hectáreas nace en la unión de los ríos Chitagá y Valegrá, ubicados en el municipio de Toledo. En la frontera con el departamento de Boyacá, se unen con el río Cobugón para formar el río Arauca. Entre sus afluentes más destacados se encuentran los ríos Colorado, Culagá, Chitagá, Sararito y Talco (Corponor, 2016; IGAC, 2007; Méndez et al., 1997).

Los suelos de la provincia de Pamplona

En la provincia de Pamplona se han realizado investigaciones aplicadas que abordan las propiedades químicas del suelo. En un estudio llevado a cabo por Mahecha-Molina et al. (2020), se evaluaron bioproductos locales como alternativas orgánicas para subsanar las deficiencias de fósforo en cultivos de fresa. Los autores determinaron que el Caldo Rizósfera y el M6, una mezcla que contiene microorganismos efectivos, vinagre, etanol, extractos de plantas aromáticas, jengibre, ajo, cebolla, pimienta y ají, mostraron respuestas más favorables para mitigar tanto la incidencia como la severidad de la deficiencia de fósforo, en comparación con el grupo de control y otros tratamientos evaluados.

En un estudio posterior llevado a cabo por Aragón Mendoza y Vivas Valencia (2021), los autores procedieron a evaluar el nivel de acidez en los suelos del municipio de Pamplona y a determinar los requerimientos de enmienda agrícola, mediante la realización de pruebas de incubación en laboratorio. Los resultados indicaron que el uso exclusivo de cal agrícola al 100 % propició una reducción significativa en la concentración de Al³⁺ en el suelo.

Además, se destaca una investigación básica realizada por Rojas et al. (2018) quienes examinaron la recuperación y análisis de las funciones desempeñadas por los microorganismos en los diversos ciclos biogeoquímicos del suelo de un cultivo de maíz en la provincia de Pamplona. Los autores revelaron que la actividad predominante en el medio fue la de los microorganismos nitrificantes, alcanzando un 17.87% con respecto a la media estimada, la cual se sitúa en 42'500.000 millones de UFC por gramo (100%). Igualmente, observaron que los microorganismos con actividad amilolítica se encuentran presentes en una proporción menor, representando un 2.35% del total de la densidad poblacional.

En este contexto, teniendo en cuenta los estudios llevados a cabo por Corponor (2016), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2007), Pabón, García y Méndez (1998), así como de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) y Méndez et al. (1997), se recopiló y analizó información de las características químicas de los suelos, las zonas de vida y agroecológicas de los municipios pertenecientes a la provincia de Pamplona.

Grado de acidez (pH)

El pH del suelo es una propiedad química fundamental que influye en el crecimiento y desarrollo de los cultivos al tener un impacto directo en la disponibilidad y movilidad de los nutrientes esenciales para las plantas. Por ejemplo, en suelos muy ácidos, la disponibilidad de elementos como el fósforo, el calcio, el magnesio y el molibdeno puede disminuir debido a la formación de compuestos insolubles. En

contraste, en suelos muy alcalinos, el acceso de nutrientes como hierro, manganeso y zinc puede disminuir debido a la precipitación de estos en formas insolubles (Brady & Weil, 2017; White, 2005).

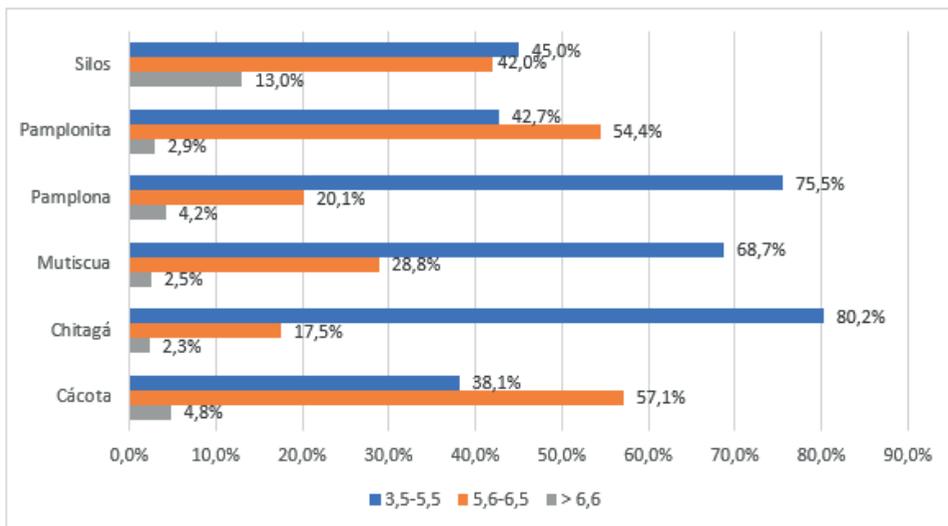
De hecho, un suelo con un pH menor o igual a 5,5 se considera ácido. Esta acidez puede afectar el crecimiento de muchos cultivos, dado que la mayoría de las plantas prefieren un pH ligeramente ácido a ligeramente alcalino, con valores entre 6,0 y 7,0 (Trevisan, 2019; Brady & Weil, 2017). Un pH ácido puede resultar en la acumulación de elementos tóxicos como el aluminio, lo cual puede ser perjudicial para las raíces de las plantas. Además, la actividad microbiológica tiende a reducirse en suelos con pH ácido, lo que limita su capacidad para descomponer la materia orgánica y reciclar nutrientes.

Por lo tanto, para optimizar la producción agrícola es importante mantener el pH dentro de los niveles adecuados para el cultivo que se va a sembrar. La corrección del pH puede lograrse mediante la aplicación de enmiendas alcalinas, como la cal, o mediante la adición de materia orgánica. Esto no solo mejora la disponibilidad de nutrientes para las plantas, sino que también puede mejorar la estructura del suelo y aumentar la actividad biológica del mismo (Trevisan, 2019).

En este sentido, se observa que (Figura 4.7), según Pabón, García y Méndez (1998), de los seis municipios de la provincia predominó un pH entre 3,5 a 5,0 en los siguientes: Chitagá, Pamplona, Mutiscua y Silos, distribuidos porcentualmente en 80,2%, 75,5%, 68,7% y 45% respectivamente, clasificados como extremadamente ácidos y Cécota, así como Pamplonita ligeramente alcalinos (5,5-6,5).

Figura 4.7

Valores porcentuales de la distribución del pH en los suelos de la provincia de Pamplona.



Fuente: *Adaptado del Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento de Norte de Santander publicado por Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2007) y del Estado de fertilidad de los suelos de la provincia de Pamplona, p.3, por Pabón, García & Méndez, 1998, publicado por Corpoica*

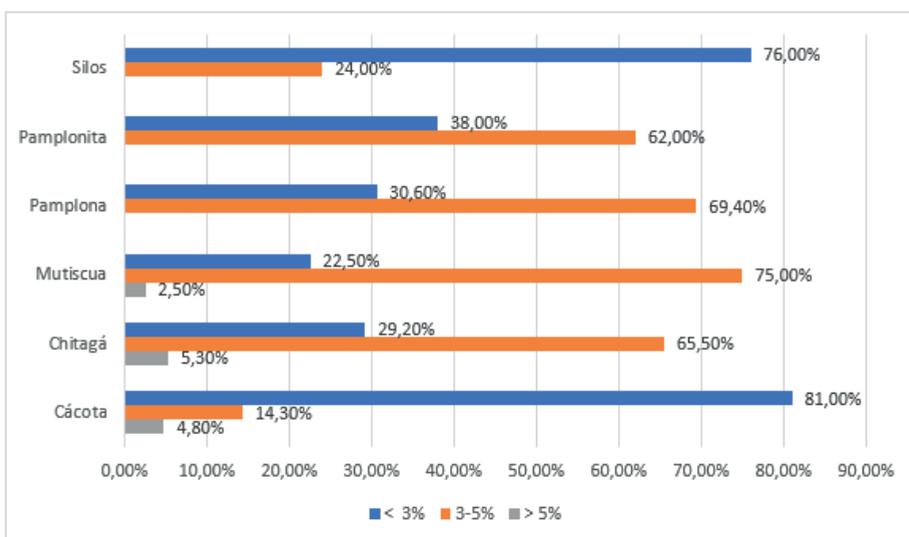
Cantidad de materia orgánica

La materia orgánica se forma a partir de la descomposición de residuos orgánicos y restos de plantas y animales, siendo esencial para el suelo. Esta aporta nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal, mejora la estructura del suelo y aumenta su capacidad para retener agua y elementos nutritivos. Además, previene la erosión, promueve la actividad microbiana y posee la capacidad de capturar nitrógeno del suelo, lo que contribuye a su fertilidad (Brady & Weil, 2017; White, 2005).

De acuerdo con Pabón, García y Méndez (1998) los municipios de Mutiscua, Pamplona, Chitagá y Pamplonita presentan un contenido medio (3-5%) de materia orgánica, mientras que los municipios de Silos y Cúcota valores bajos (< 3%) lo que sugiere que estos pueden enfrentar desafíos en términos de productividad agrícola y conservación del suelo (Figura 4.8).

Figura 4.8

Valores porcentuales de la distribución de la materia orgánica en los suelos de la provincia de Pamplona.



Fuente: *Adaptado del Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento de Norte de Santander publicado por Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2007) y del Estado de fertilidad de los suelos de la provincia de Pamplona, p.4 por Pabón, García & Méndez, 1998, publicado por Corpoica.*

Concentración de Calcio

El calcio es un nutriente fundamental para el desarrollo adecuado de las plantas, ya que desempeña un papel clave en diversos procesos fisiológicos de estas. Entre estos procesos se destacan la formación de

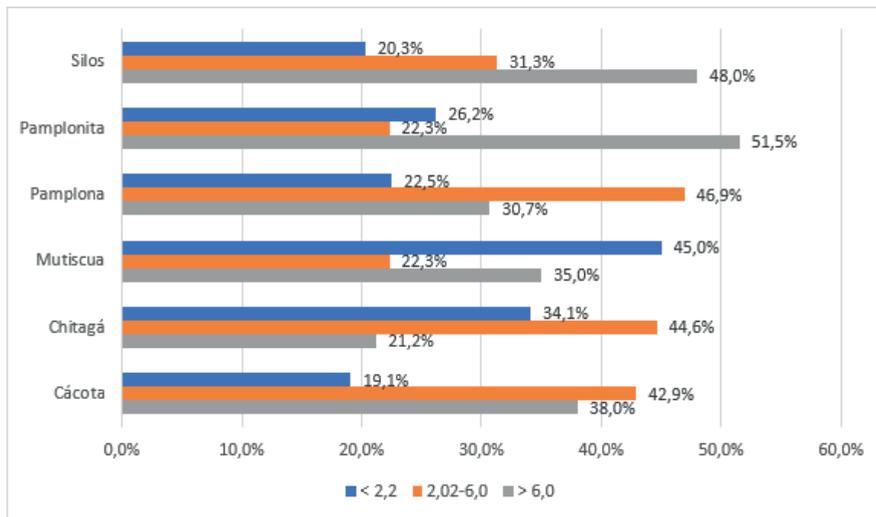
las paredes celulares, la regulación del pH del suelo y la disponibilidad de otros nutrientes esenciales, como el nitrógeno y el fósforo (Marschner, 2012; White & Brown, 2010).

En la provincia, la mayoría de los suelos presentan niveles significativos de calcio, especialmente en los municipios de Pamplonita y Silos, con valores superiores a 6 Meq/100 gramos de suelo (Figura 4.9). Asimismo, se observan niveles medios en los municipios de Pamplona, Chitagá y Cúcota, con un rango que varía entre el 42,9% y el 46,9%. Es probable que estos altos niveles se deban a la aplicación frecuente de cal, un correctivo del suelo utilizado en la provincia para controlar plagas como los tierreros y las babosas (IGAC, 2007; Pabón, García & Méndez, 1998).

Cabe mencionar que gran parte del suelo del municipio de Mutiscua presenta una deficiencia de calcio (< 2 Meq/100 gramos de suelo) lo que puede resultar en problemas de crecimiento, así como el desarrollo de las plantas, incluyendo retraso en el crecimiento, hojas amarillas, deformaciones en las hojas y reducción en la calidad de la cosecha.

Figura 4.9

Valores porcentuales de la distribución del contenido de calcio en los suelos de la provincia de Pamplona.



Fuente: *Adaptado del Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento de Norte de Santander* publicado por Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2007) y del *Estado de fertilidad de los suelos de la provincia de Pamplona*, p.6, por Pabón, García & Méndez, 1998, publicado por Corpoica.

Concentración de potasio

Según Hoa (2003), el potasio (K) puede encontrarse en diversas formas en el suelo, incluyendo su presencia en solución, adsorbido en la superficie de las arcillas, fijado entre las capas de arcilla y en los minerales primarios; formando parte de la estructura cristalina. Estas diferentes formas están en constante equilibrio y pueden experimentar cambios y movimientos a través de procesos como la absorción-desorción, la fijación, la inmovilización y la meteorización. En la agricultura intensiva el suministro de potasio (K) por parte del suelo, a menudo no es suficiente para satisfacer las demandas de los cultivos. Aunque el contenido total de K puede ser del 4% o más, no siempre está directa-

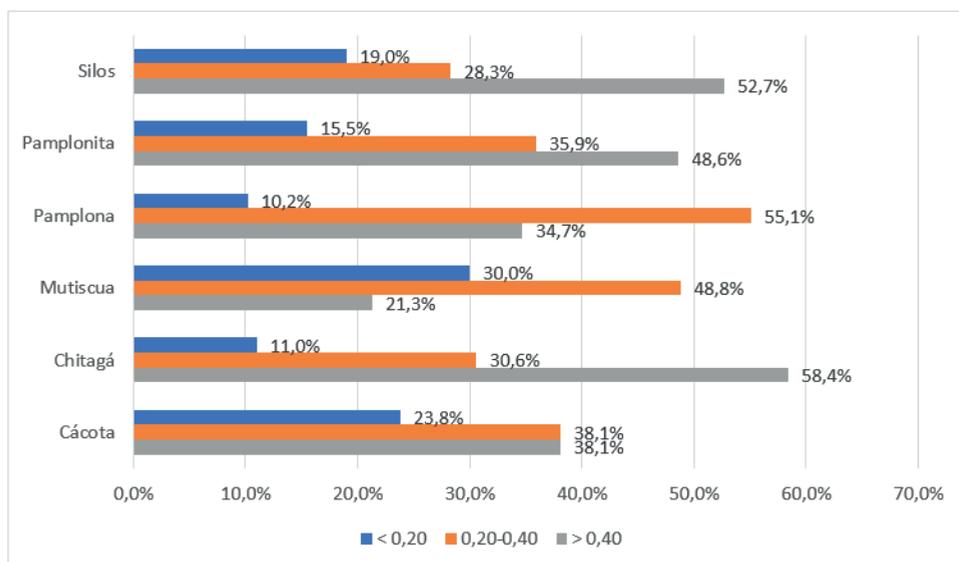
mente disponible para las plantas. Su disponibilidad se ve influenciada por varios factores como la capacidad de intercambio catiónico, el pH y la presencia de otros iones competidores, como los iones hidrógeno (H^+) y los iones calcio (Ca^{2+}) (Marschner, 2012; Mutscher, 1997).

De acuerdo con Pabón, García y Méndez (1998), en la provincia se observan variaciones en los niveles de potasio, siendo los municipios de Chitagá, Silos y Pamplonita los que presentan los valores más elevados; superiores a 0,40 meq/100 gramos de suelo. En cambio, los municipios de Pamplona y Mutiscua tienen niveles medios con valores que oscilan entre 0,20 y 0,40 meq K, mientras que Mutiscua y Cócota poseen niveles bajos, más bien, inferiores a 0,20 meq K (Figura 4.10).

Es importante considerar que los suelos con bajos niveles de potasio suelen tener un pH bajo, como en el caso de Mutiscua; lo que puede afectar la disponibilidad de otros nutrientes esenciales para las plantas. Es decir, cuando el pH del suelo es ácido, los cationes hidrógeno (H^+) compiten con los cationes potasio (K^+) por los sitios de intercambio catiónico del suelo. Esto puede llevar a una reducción en la disponibilidad de potasio para las plantas y, por lo tanto, influir en su crecimiento y desarrollo (Charman & Murphy, 2013).

Figura 4.10

Valores porcentuales de la distribución del contenido de potasio en los suelos de la provincia de Pamplona.



Fuente Adaptado del Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento de Norte de Santander publicado por Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2007) y del Estado de fertilidad de los suelos de la provincia de Pamplona, p.9, por Pabón, García & Méndez, 1998, publicado por Corpoica.

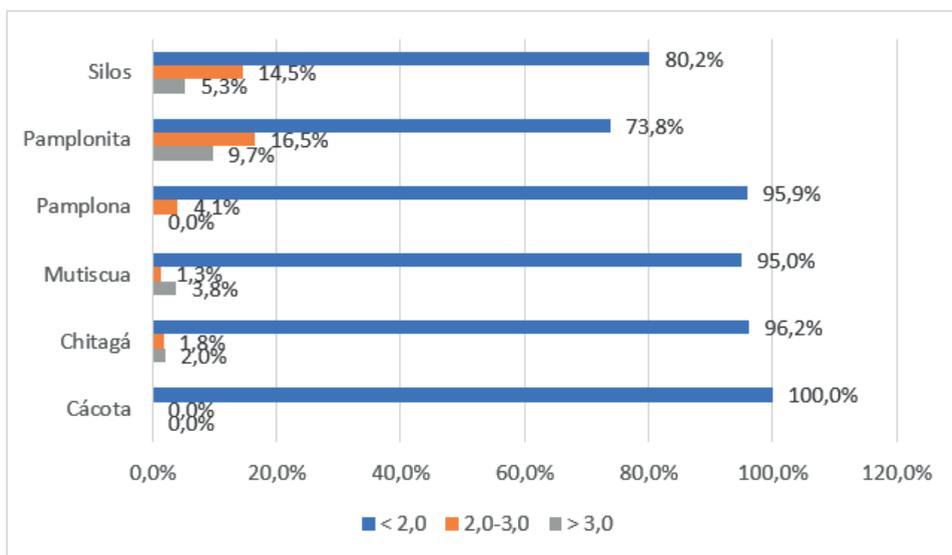
Concentración de magnesio

La cantidad de magnesio presente en el suelo depende de varios factores como la mineralogía, el pH, la materia orgánica y la actividad microbiana. En suelos ácidos, el magnesio puede encontrarse en formas que son insolubles y, por lo tanto, difíciles de absorber por las raíces de las plantas (Brady and Weil, 2017; White & Broadley, 2011).

Es así como según el análisis por municipio, se puede observar que gran parte de los suelos de la provincia presentan un contenido de magnesio inferior a 2 meq (Figura 4.11) lo cual es un factor limitante en el crecimiento y producción de los cultivos en estas áreas y podría afectar negativamente la calidad y cantidad de los productos agrícolas. En este caso, Pabón, García y Méndez (1998) sugieren la aplicación de fertilizantes foliares complementarios que contengan sulfatos, cal dolomítica y otros nutrientes en forma quilatada para suplir esta carencia.

Figura 4.11

Valores porcentuales de la distribución del contenido de magnesio en los suelos de la provincia de Pamplona.



Fuente: Adaptado del *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento de Norte de Santander* publicado por Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2007) y del *Estado de fertilidad de los suelos de la provincia de Pamplona*, p.7, por Pabón, García & Méndez, 1998, publicado por Corpoica.

Concentración de fósforo

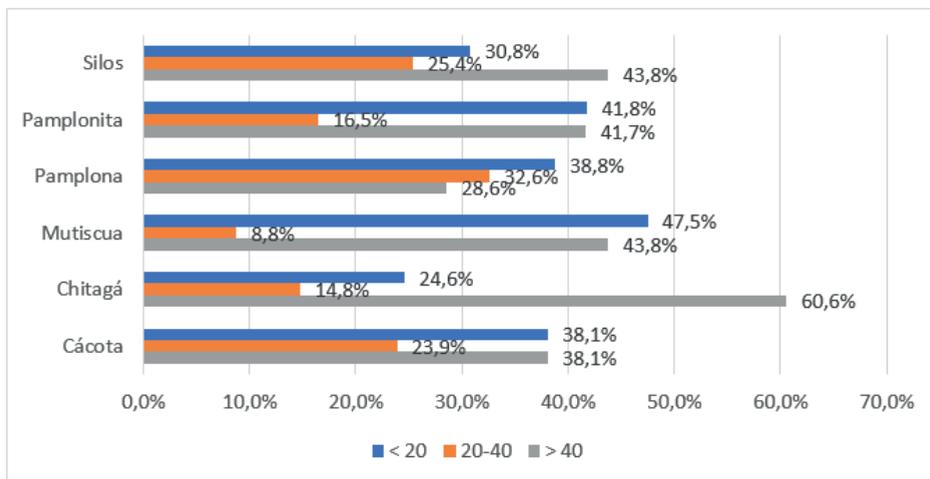
El fósforo se encuentra en forma orgánica e inorgánica y su disponibilidad puede ser afectada por factores como el pH, la textura del suelo, la presencia de compuestos de aluminio y la actividad microbiana. En suelos ácidos, su disponibilidad puede ser limitada debido a la presencia de aluminio y hierro, que forman compuestos insolubles con este nutriente (Johan et al., 2021). La textura del suelo también puede influir en su disponibilidad, ya que los suelos arcillosos tienen una mayor capacidad para retenerlo que los arenosos.

Cuando el suelo tiene una deficiencia de fósforo, las plantas pueden mostrar un crecimiento lento, un tamaño reducido y un desarrollo pobre de las raíces. Además, esta deficiencia puede afectar la calidad de los cultivos, reduciendo, por ejemplo, el contenido de proteínas en los granos y frutos (Ara et al., 2018).

En este sentido, se observa en la figura 4.12 que entre los municipios evaluados: Chitagá, Pamplonita y Silos son los que muestran una mayor disponibilidad de fósforo en el suelo, con valores superiores a 40 ppm. Por otro lado, en los demás municipios, la mayoría presenta niveles inferiores a 20 ppm, lo que sugiere que diversos factores podrían estar contribuyendo a la deficiencia de fósforo como la lixiviación excesiva, la erosión del suelo, la disminución de la materia orgánica y la falta de fertilización adecuada (IGAC, 2007; Pabón, García & Méndez, 1998).

Figura 4.12

Valores porcentuales de la distribución del contenido de fósforo en los suelos de la provincia de Pamplona.



Fuente: Adaptado del *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento de Norte de Santander* publicado por Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2007) y del *Estado de fertilidad de los suelos de la provincia de Pamplona*, p.7, por Pabón, García & Méndez, 1998, publicado por Corpoica.

Concentración de azufre

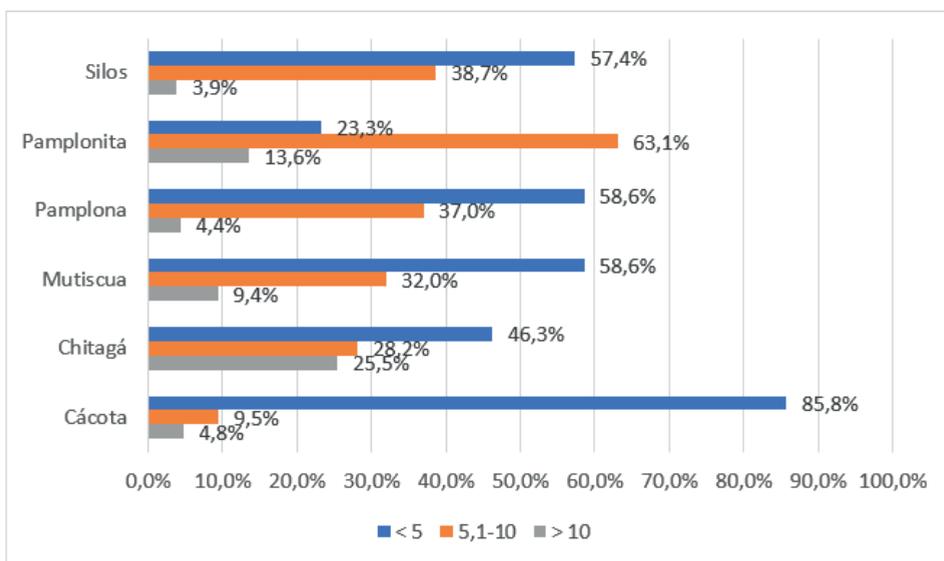
El azufre es un elemento químico esencial que se encuentra en el suelo principalmente en forma de sulfatos, los cuales están presentes en los minerales del suelo y se liberan mediante la acción de microorganismos y procesos químicos. Este elemento es crucial para la formación de proteínas y enzimas en las plantas, así como para la síntesis de clorofila. Las concentraciones de azufre pueden variar ampliamente según la región geográfica y las características del suelo. Por lo general, los suelos arenosos y con baja materia orgánica tienden a tener niveles más bajos de azufre en comparación con los suelos arcillosos y ricos en materia orgánica (Haneklaus et al., 2016).

En la provincia se ha observado un bajo contenido de azufre -en la

mayoría de los municipios- con valores menores a 5ppm entre los cuales se encuentran el municipio de Cáкота con el mayor porcentaje de suelos con bajo contenido de azufre, llegando al 85,7%, seguido por Mutiscua y Silos (Figura 4.13). Este bajo contenido puede estar influenciado por varios factores, como la alta extracción de este elemento en cultivos hortícolas, la ausencia de formas disponibles, la aplicación de fertilizantes sin azufre y la pérdida de lixiviación (IGAC, 2007; Pabón, García & Méndez,1998).

Figura 4.13

Valores porcentuales de la distribución del contenido de azufre en los suelos de la provincia de Pamplona.



Fuente: Adaptado del *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento de Norte de Santander* publicado por Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2007) y del *Estado de fertilidad de los suelos de la provincia de Pamplona*, p.7, por Pabón, García & Méndez, 1998, publicado por Corpoica.

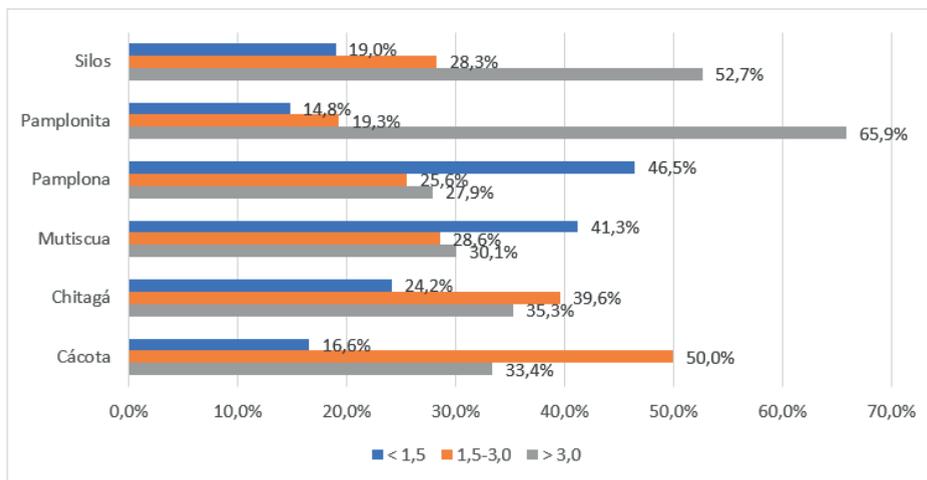
Concentración de zinc

El zinc es un micronutriente fundamental para el crecimiento vegetal, ya que juega un papel crucial en la síntesis de proteínas, el desarrollo radicular y la formación de clorofila. Sin embargo, su presencia en el suelo puede variar ampliamente debido a factores como la geología, el uso del suelo y la aplicación de fertilizantes (Alloway, 2008). Además, su disponibilidad puede verse afectada por la acidez y la textura del suelo, así como por su capacidad para retener nutrientes. Por ejemplo, los suelos ácidos tienden a tener una baja disponibilidad de zinc ya que este puede formar compuestos insolubles en un entorno ácido. Por otro lado, los suelos arcillosos con alta capacidad de retención de nutrientes pueden limitar la disponibilidad de zinc para las plantas al unirse con otros minerales y formar compuestos insolubles, haciendo que el zinc sea inaccesible para las raíces de las plantas (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007; Lindsay & Norvell, 1978).

En la provincia de Pamplona según los estudios efectuados por Pabón, García y Méndez (1998), los municipios que presentan contenidos bajos de este elemento son Pamplona y Mutiscua, mientras que Silos y Pamplonita poseen niveles altos. En cuanto a Cócota y Chitagá éstos se encuentran en un nivel intermedio (Figura 4.14). Los autores manifiestan que los suelos calcáreos con bajos contenidos de materia orgánica y niveles de pH bajos tienden a presentar bajos niveles de zinc debido a la pérdida por el arrastre de agregados estructurales.

Figura 4.14

Valores porcentuales de la distribución del contenido de zinc en los suelos de la provincia de Pamplona.



Fuente: Adaptado del *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento de Norte de Santander* publicado por Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2007) y del *Estado de fertilidad de los suelos de la provincia de Pamplona*, p.7, por Pabón, García & Méndez, 1998, publicado por Corpoica.

Concentración de boro

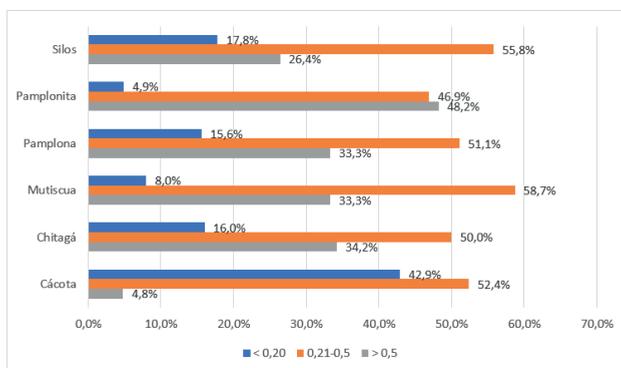
El boro es un micronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo vegetal ya que desempeña un papel crucial en la síntesis de la pared celular y en la formación de raíces y brotes (Marschner, 2012; Shorrocks, 1997). Además, está implicado en la regulación de la absorción y translocación de otros nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo. Por lo general, los suelos ácidos presentan una menor disponibilidad de boro, mientras que los alcalinos pueden contener mayores cantidades, aunque en una forma que no es accesible para las plantas (Marschner, 2012; Malavé, 2005).

En este sentido se observa un predominio del nivel medio de contenido de boro, con valores menores a 0,50 partes por millón (p.p.m.), distribuidos de la siguiente manera: Mutiscua con un 58,67%, Silos con un 55,8%, Pamplona con un 51,5%, Chitagá con un 49,8% y Pamplonita con un 46,6%. En contraste, Cácosta presenta valores bajos de boro, por debajo de 0,20 p.p.m. Esta situación se debe probablemente al hecho de que el material parental de sus suelos es calcáreo con pH altos, bajos contenidos de materia orgánica y agregados de mayor tamaño (Figura 4.15). Por ello, los sistemas de producción establecidos en este municipio pueden verse afectados por esta baja concentración de boro, presentando problemas como baja viabilidad del polen, escasa división celular, mala calidad de los productos y baja producción (IGAC, 2007; Pabón, García & Méndez, 1998).

Una estrategia efectiva para aumentar la retención de boro es a través de la aplicación de carbonato de calcio. El carbonato de calcio no solo aumenta el pH de la solución, sino que también actúa como un absorbente importante del elemento en suelos calcáreos, posiblemente a través de procesos de intercambio con grupos carbonatos (Malavé, 2005).

Figura 4.15

Valores porcentuales de la distribución del contenido de boro en los suelos de la provincia de Pamplona.



Fuente: Adaptado del *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento de Norte de Santander* publicado por Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2007) y del *Estado de fertilidad de los suelos de la provincia de Pamplona*, p.7, por Pabón, García & Méndez, 1998, publicado por Corpoica.

Zona de vida en la provincia de Pamplona

En la provincia de Pamplona, se observa (Tabla 4.9) una variabilidad altitudinal que va desde los 1.000 metros sobre el nivel del mar hasta altitudes superiores a los 3.600 metros. Por ejemplo, en el municipio de Pamplona, se observan predominancias de bosques húmedos montanos bajos y bosques secos montanos bajos. Por su parte, en Pamplonita prevalecen los bosques secos premontanos, mientras que Chitagá, alberga bosques muy húmedos montanos y húmedos montanos. Tanto Cácosta como Mutiscua con altitudes comprendidas entre 2.000 y 3.000 metros, exhiben bosques húmedos montanos bajos, al igual que Silos.

Tabla 4.9

Zona de vida de Holdridge de la provincia de Pamplona

Municipio	Altitud m.s.n.m.	Zona de vida
Pamplona	2.000-3.000	Bosque húmedo montano bajo Bosque seco montano bajo
	1.000-2.000	Bosque húmedo premontano Bosque seco premontano
Pamplonita	1.000-2.000	Bosque seco premontano
Chitagá	>3.600	Bosque muy húmedo montano Bosque húmedo montano
	3.000-3.600	Bosque húmedo montano
	2.000-3.000	Bosque pluvial montano bajo Bosque húmedo montano bajo
	1.000-2.000	Bosque pluvial premontano Bosque húmedo premontano
Cácosta	2.000-3.000	Bosque húmedo montano bajo Bosque seco montano bajo
Mutiscua	2.000-3.000	Bosque húmedo montano bajo
Silos	3.000-3.600	Bosque húmedo montano
	2.000-3.000	Bosque seco montano bajo

Fuente: Adaptado del *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento de Norte de Santander* publicado por Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2007).

Zonas agroecológicas de la provincia de Pamplona

Las zonas agroecológicas son áreas de tierra homogéneas que se definen por variables agroecológicas como el clima, la geomorfología, el material parental y el tipo de suelo. Estas zonas conforman espacios visiblemente definidos donde interactúan parámetros levemente transformables a corto y mediano plazo, dentro de las circunstancias técnicas y sociales de manejo actual (Tress Tress & Fry, 2005). El objetivo de identificar estas zonas es encontrar áreas que presenten condiciones ecológicas similares, lo que permitirá implementar prácticas y técnicas de manejo apropiadas y adaptadas a cada zona (Mendoza, Fuentes & Bocco, 2017).

Más bien, su delimitación permite un manejo más adecuado de los recursos naturales y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles, de acuerdo con las características específicas de cada área (Pérez, Nava & Vera, 2011). Esto es especialmente importante en la planificación y gestión del territorio, ya que admite una mayor validez en el manejo de los recursos y un menor impacto ambiental (Altieri & Nicholls, 2017). Según estudios realizados por IGAC (2007) y Méndez et al. (1997) se han identificado seis zonas agroecológicas en la provincia de Pamplona (Tabla 4.10) clasificadas de acuerdo con los pisos térmicos, la provincia de humedad y la pendiente del terreno.

Tabla 4.10

Zonas agroecológicas de la provincia de Pamplona

Piso térmico	Temperatura °C	Municipio	Altura m.s.n.m.	Precipitación mm anuales	Provincia de humedad
Medio	18 a 24	Pamplonita	1.000-2.000	800-1.000 1.000- 4.000	Subhúmeda Húmeda-perhúmeda
		Chitagá	1.000-2.000	4.000-8.000	Subhúmeda
Frío	12 a 18	Chitagá	2.000-3.000	500-1.000	Subhúmeda
		Silos Cacota			
		Pamplonita	Chitagá	2.000-3.000	4.000-8.000

Piso térmico	Temperatura °C	Municipio	Altura m.s.n.m.	Precipitación mm anuales	Provincia de humedad
Muy frío	<12	Pamplona Mutiscua Chitagá Silos Cácuta	3.000-4.000	500-2.000	Húmeda- perhúmeda

Fuente: Adaptado del *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento de Norte de Santander* publicado por Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2007) y del *Análisis de los Sistemas Agropecuarios del departamento de Norte de Santander*, por Méndez et al. 1997, publicado por Agrosavia.

La provincia subhúmeda de piso térmico se distingue por su terreno accidentado y abrupto, con pendientes que superan el 12%. Los suelos son poco evolucionados y muy superficiales, con una fertilidad parca a alta y una gran susceptibilidad a los procesos erosivos. En algunos lugares, estos suelos pueden estar cubiertos de piedras o rocas. Estas áreas son adecuadas para la reforestación, mientras que en las zonas con pendientes más suaves se pueden cultivar cultivos como tomates, frijoles y maíz con la ayuda de riego suplementario (IGAC, 2007; Méndez et al., 1997).

Por su parte la provincia húmeda y perhúmeda se encuentran en áreas montañosas con terreno plano o fuertemente ondulado, con pendientes que pueden alcanzar el 25-50% e incluso superar el 50%. Los suelos en estas regiones están formados principalmente por materiales sedimentarios como areniscos y son poco evolucionados. Estos suelos tienen un buen drenaje, son moderadamente profundos a superficiales y pueden presentar piedras o rocas en algunas áreas. Además, su fertilidad suele ser baja. A pesar de estas características, estas zonas son aptas para cultivar cultivos transitorios como papa, maíz, hortalizas y leguminosas. Es posible llevar a cabo estas actividades gracias a las condiciones climáticas adecuadas y la disponibilidad de agua, ya que la lluvia es abundante en estas regiones (IGAC, 2007; Méndez et al., 1997).

La región de clima medio superhúmedo con precipitaciones anuales entre 4.000 y 8.000 m.s.n.m, se encuentra en áreas montañosas con relieve generalmente escarpado, donde las pendientes pueden superar el 50%. En estas zonas, los suelos son mayormente superficiales y están compuestos por piedras y rocas, lo que los hace poco profundos y de baja fertilidad y debido a las características del terreno; la agricultura en esta región presenta desafíos considerables (Méndez et al., 1997). Sin embargo, el alto nivel de precipitaciones proporciona un ambiente adecuado para la reforestación y la conservación de la biodiversidad. Además, la gestión adecuada del suelo y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles, como la agricultura de conservación, pueden ayudar a mejorar la fertilidad del suelo y hacer posible la producción de cultivos transitorios en algunas áreas con pendientes más suaves.

Los pisos térmicos fríos subhúmedos, caracterizados por precipitaciones anuales de entre 500 y 1.000 m.s.n.m, se encuentran en áreas montañosas con relieve ondulado, fuertemente quebrado a escarpado; con pendientes del 12%, 25-50% y superiores al 50%. Los suelos en esta región están formados a partir de materiales heterogéneos y presentan una moderada evolución. Son superficiales y tienen una fertilidad moderada, pero son bien drenados y muy susceptibles a la erosión. En las áreas de menor pendiente, es posible llevar a cabo cultivos transitorios como la papa, las hortalizas y el maíz, así como la ganadería semi-intensiva. Por otro lado, en las zonas con pendientes de 25-50% y mayores al 50%, se pueden desarrollar actividades de ganadería extensiva. Sin embargo, es importante señalar que estas áreas son muy propensas a la erosión, por lo que se recomienda reforestarlas para evitar la pérdida de suelo y preservar su fertilidad (IGAC, 2007; Méndez et al., 1997).

A su vez, la zona de clima frío y provincia superhúmeda, con una precipitación anual entre 4.000 y 8.000 m.s.n.m, se encuentran en áreas montañosas con relieve generalmente escarpado, donde las pendientes suelen superar el 50%. Los suelos son principalmente superficiales, compuestos por piedras y rocas, lo que los hace poco profundos y de baja fertilidad (Méndez et al., 1997). Más bien, se puede argumentar que la agricultura en esta región presenta desafíos significativos debido a las características del terreno y la calidad del suelo.

Finalmente, el piso térmico muy frío y provincia húmeda y perhúmeda con una precipitación anual que varía de 500 a 2.000 mm, se encuentra situado en la cordillera Oriental de Colombia. El relieve de esta zona es mayormente escarpado a ondulado. Los suelos son formados desde materiales heterogéneos algunas veces influenciados por cenizas volcánicas y exhiben baja evolución, lo que se manifiesta en suelos superficiales y de baja fertilidad. Dada la situación climática y geográfica de estos suelos, son áreas valiosas para el mantenimiento de la flora, fauna y de fuentes hídricas de los ecosistemas de páramo (Méndez et al., 1997). La conservación de estos ecosistemas es fundamental, ya que proporcionan la ordenación del ciclo hidrológico, la protección contra la erosión y la conservación de la biodiversidad.

Conclusiones

La provincia de Pamplona presenta una amplia variedad de características climáticas, geográficas y de suelo, que la hacen una región diversa y rica en recursos naturales.

Se ha identificado que el clima es de tipo medio a muy frío con influencia de la altitud, lo que genera zonas con diferentes regímenes de temperatura y precipitación.

Su régimen de lluvias bimodal junto con sus diferentes pisos térmicos, generan un sistema hidrográfico diverso compuesto por dos importantes cuencas, el río Catatumbo y el río Orinoco. En cuanto al suelo, se identificaron propiedades químicas como altos niveles de pH, calcio y zinc, pero bajos en magnesio, azufre y fósforo.

Además, se establecieron seis zonas agroecológicas con características únicas, lo que indica que la provincia de Pamplona es una región potencialmente importante para la obtención de alimentos y otros productos agrícolas.

Recomendaciones

Analizar la vulnerabilidad de la región frente al cambio climático.

La región de Pamplona puede ser vulnerable a las implicaciones del cambio climático como la inestabilidad climática y los fenómenos excesivos. Por lo tanto, se recomienda realizar un análisis de la región frente a estos efectos, identificando las áreas más vulnerables y desarrollando estrategias para la adaptación al cambio climático.

Estudiar la relación entre la agricultura y el ambiente.

La agricultura es una actividad económica importante en la región, por lo que se recomienda analizar su relación con el ambiente. Es necesario determinar los impactos ambientales de la actividad agrícola en la región, identificar prácticas agrícolas sostenibles y desarrollar estrategias para promover la agricultura sostenible.

Realizar estudios de impacto ambiental.

Si bien la región de la provincia cuenta con un importante potencial de desarrollo económico, es necesario tener en cuenta su impacto ambiental. Por lo tanto, se recomienda realizar estudios de impacto ambiental de los proyectos de desarrollo económico que se quieran llevar a cabo en la región. Esto permitirá tomar decisiones informadas en cuanto a su implementación y mitigar sus impactos ambientales.

Referencias

- Aguado, E. & Burt, J. (2021). *Understanding weather and climate*, Pearson, USA.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2017). *Agroecología: principios y estrategias para una agricultura sustentable*. Nordan Comunidad.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2000). Agroecología: principios y estrategias para la transición hacia sistemas alimentarios sustentables. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 12(1), 1-15.
- Alloway, B.J. (2008). *Zinc in Soils and Crop Nutrition*. 2nd Edition, IZA and IFA, Brussels, Belgium and Paris, France.
- Andrades, M. & Múñez, C. (2012). *Fundamentos de Climatología*. Universidad de la Roja, 64p
- Ara, I, Shoffikul, I., Kashem, A. & Osman, K. (2018). A comparative study of phosphorus availability in an acidic soil and an alkaline soil amended with organic and inorganic phosphorus sources. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18(2), 466-478.
- Aragón Mendoza, C. I., & Vivas Valencia, C. A. (2021). Diagnóstico del nivel de acidez y estimación de las necesidades de enmienda agrícola en suelos del municipio Pamplona, Norte de Santander mediante pruebas de incubación en laboratorio (Trabajo de grado). Universidad de Pamplona, Facultad de Ciencias Agrarias, Programa Ingeniería Agronómica.
- Barry, R. & Chorley, R. (2009). *Atmosphere, Weather and Climate* Routledge, 534p.
- Bautista, A., Etchevers, J., Del Castillo, R., & Gutiérrez, C. (2004). La Calidad del Suelo y sus Indicadores. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente. Ecosistemas*, 13(2), 90-97.
- Brady, N.C. & Weil, R.R. (2017). *The Nature and Properties of Soils*. Columbus, Pearson.

- Breemen, N & Buurman, P. (2003). *Soil Formation*. Springer Dordrecht, 408p.
- Cancino-Escalante, G., Cancino, S. & Quevedo (2020). *El cultivo del durazno [P. persica (L.) Batsch] en la subregión suroccidental del departamento de Norte de Santander*. Universidad de Pamplona, Colombia.
- Castro, M. (2021). Aspectos biofísicos y socioeconómicos de la subcuenca del Río Páez, Cartago, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(67), 170-193.
- Corporación Autónoma Regional de la Frontera (Corponor) (2016). *Plan estratégico ambiental regional, 2016-2035*. Recuperado de <http://corponor.gov.co/es/index.php/politicas-planes-y-lineas-estrategicas/planes>.
- Cuadrat, J. & Pita, M. (2004). *Climatología*. Ediciones Cátedra (Grupo Anaya, S.A.). Madrid, España, 469p.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2023). *Proyecciones de Población*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2017). Encuesta nacional agropecuaria (ENA-2016). Boletín Técnico. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena>.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2021). La información del DANE en la toma de decisiones regionales, Cúcuta, Norte de Santander. <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/planes-departamentos-ciudades/210319-InfoDane-Cucuta-Norte-de-Santander.pdf>
- Domínguez, C. (1998). *La gran cuenca del Orinoco*. Fondo FEN Colombia.
- Gliessman, S. R. (2007). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible* (2a ed.). Mundi-Prensa.

- Haneklaus, S., Bloem, E., Schnug, E., & Buegger, F. (2016). *Sulfur in Soils: Processes, Behavior, and Measurement*. CRC Press.
- Hernández Arrázola, A., Landero-Madera, K. & Rodríguez Miranda, J. (2018). Estado Actual de la Planificación de las Cuencas Hídricas en el Departamento de Sucre (Colombia). *Procesos Urbanos*, 5, 75-78.
- Hoa, N. (2003). Soil potassium dynamics under intensive rice cropping. A case study in the Mekong Delta, Vietnam. Doctoral thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands. 216 p.
- Holdridge, L. R. (1947). Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, 105(2727), 367-368.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (2002). *Zonificación de los conflictos de uso de las tierras en Colombia*, Bogotá, Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2007). Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Norte de Santander.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (1995). *Suelos de Colombia (Origen, Clasificación, Distribución y Uso)*. Bogotá, Colombia, 632 p.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (1988). *Suelos y bosques de Colombia*. IGAC. Bogotá, Colombia, 135 p
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2022). *Climatología trimestral de Colombia*. Grupo de Modelamiento de Tiempo, Clima y Escenarios de Cambio Climático.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2013). *Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia*. Bogotá, D. C., Colombia.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2019). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá, D. C., Colombia
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2023). Características climáticas de Norte de Santander http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/nsantander_texto.pdf

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2023) Consulta de datos hidrometeorológicos <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Medellín, Colombia.
- Johan, P. D., Ahmed, O. H., Omar, L., & Hasbullah, N. A. (2021). Phosphorus Transformation in Soils Following Co-Application of Charcoal and Wood Ash. *Agronomy*, 11(10), 2010.
- Kabata-Pendias, A., & Mukherjee, A. B. (2007). Trace elements from soil to human. Springer.
- Kumar, M. D. (Ed.). (2021). *Water productivity, water use, and agricultural growth: Global experience and lessons for future*. En Current Directions in Water Scarcity Research (Vol. 3, pp. 237-251). Elsevier.
- Lindsay, W. & Norwell, W. (1978). Development of DPTA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper. *Soil Social Science of American Journal*, 42(3), 421-428.
- López-Vera, F. (2005). Generalidades de los Recursos Hídricos. En: *Recursos Hídricos Conceptos Básicos y estudios de caso in Iberoamérica*. Piriguazú Ediciones, Uruguay.
- Mahecha Molina, J. G., Castellanos González, L. & Céspedes N. (2020). Alternativas para suplir la carencia de fósforo en fresa y disminuir la contaminación ambiental en Pamplona, Norte de Santander. *Revista Ambienta lagua, Aire y Suelo*, 1, 1-12.
- Malavé, A. (2005). Los suelos como fuente de boro para las plantas. *Revista USO*, 5(1), 20-26.
- Marschner, P. (2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic Press.
- McLaren R. G. & Cameron K. C. (1990). Soil science: an introduction to the properties and management of new zealand soils. Oxford University Press.
- Méndez, H, Arguello, L., Mantilla, J., Bobrek, J., Castro, H., Hernández, G., García, J., Vergel, L. & Araque, C. (1997). *Análisis de los*

Sistemas Agropecuarios del departamento de Norte de Santander: Documento de Planificación Territorial. Bucaramanga: Libertad,

- Mendoza, R. E., Fuentes, F., & Bocco, G. (2017). Zonificación agroecológica de México. *Investigaciones Geográficas*, (93), 91-104.
- Mutscher, H. (1997). Measurement and Assessment of Soil Potassium. International Potash Institute. Bern, Switzerland. 102 p
- Ordenamiento Territorial del Área rural y urbana del municipio de Chitagá, Norte de Santander (1999). Formulación del Plan Tomo II. República de Colombia. <https://www.corponor.gov.co/pot/Chitaga/Proyecto%20de%20Acuerdo/Chitaga%20Proyecto%20de%20Acuerdo.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022). *Que es el suelo*. Portal de Suelos de la FAO <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2013). Directrices voluntarias para la ordenación responsable de la tenencia de tierras, la pesca y los bosques en el contexto de la seguridad alimentaria nacional.
- Ortiz, A., Ruiz, M. & Rodríguez, J. (2017). Planificación y gestión de los recursos hídricos: una revisión de la importancia de la variabilidad. *Revista Logos Ciencia & Tecnología* 9 (1), 100-105.
- Pabón, F, García, J. & Méndez, H. (1998). *Estado de fertilidad de los suelos de la provincia de Pamplona.* Bucaramanga: Litografía La Bastilla Ltda.
- Pérez, J. C., Nava, L. A., & Vera, D. (2011). Zonificación agroecológica de Venezuela: hacia la sustentabilidad agrícola. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, (20), 89-100.
- Pérez-Portilla, Emiliano, & Geissert-Kientz, Daniel. (2006). Zonificación agroecológica de sistemas agroforestales: el caso café (*Coffea arabica* L.) - Palma Camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.). *Interciencia*, 31(8), 556-562.

- Programa Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2016). *Diagnóstico Socioeconómico de Norte de Santander*. Recuperado de <http://www.anh.gov.co/Seguridad-comunidades-y-medio-ambiente/SitioETH-ANH29102015/como-lo-hacemos/ETHtemporal/DocumentosDescargarPDF/1.1.2%20DIAGNOSTICO%20NORTE%20DE%20SANTANDER.pdf>
- Rai, M. (2002). *Principles of Soil Science*. Macmillan Publishers India Limited, 400 p.
- Rohl, R. & Vega, A. (2011). *Climatology*, Jones & Bartlett Learning, USA, 432p.
- Sampieri, R., Collado, C. & Baptista, L. (1997). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill, México, 497p.
- Rojas, C. L., Cajiao, P. A., & Rivera, V. K. (2018). Estudio y análisis presuntivo de la fertilidad microbiana del suelo de un cultivo de maíz (*Zea mays*) en Pamplona, Norte de Santander. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 16(1), 03-12.
- Shorrocks, V. M. (1997). The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant and Soil*, 193(1-2), 121-148. <https://doi.org/10.1023/A:1004216126069>
- Silva, F., Hernández G. Prats, C., Fernández, F. & Franco, J. (2021). *Dimensiones sociales y económicas del uso del recurso hídrico*. Bogotá, D. C., Colombia: Editorial.
- Tress, B., Tress, G., & Fry, G. (2005). Clarifying integrative research concepts in landscape ecology. *Landscape Ecology*, 20(4), 479-493.
- Trevisan, M. (2019). The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, 1, 1-19.
- United States Department of Agriculture- USDA. (2022). *Soil Classification*. <https://www.nrcs.usda.gov/resources/guides-and-instructions/soil-classification>
- Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C. & Ortiz, L. (2019). *Cuencas Hidrográficas*. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

- Wang, H. (2016). Principles of Soil Science. Callisto Reference Editors, 289p.
- White, R. (2005). Principles and Practice of Soil Science: The Soil as a Natural Resource. John Wiley & Sons.
- White, P. J., & Brown, P. H. (2010). Plant nutrition for sustainable development and global health. *Annals of Botany*, 105(7), 1073-1080.
- White, P.J., & Broadley, M.R. (2011). Physiological and ecological functions of mineral micronutrients. In: *Micronutrients in Agriculture*, second edition. American Society of Agronomy.
- Zabala, G. (2019). Caracterización de recursos hídricos estratégicos en Colombia: un análisis sobre su securitización. *Perspectivas en Inteligencia*, 11(20), 129-205.

Autores

César Villamizar Quiñonez. I.A. MSc.

Profesor titular del Programa de Ingeniería Agronómica en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Pamplona. Ingeniero Agrónomo de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) en Tunja, Colombia con maestría en Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Chile, Chile.

Giovanni Orlando Cancino Escalante, Ph.D.

Profesor titular del Departamento de Biología en la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad de Pamplona. Biólogo de la Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá, Colombia, con doctorado en Ciencias de la Universidad de Nottingham en Nottingham, Reino Unido.

Susan Elsa Cancino, MBA

Investigadora asociada. Grupo de Investigación Biología Vegetal de la Universidad de Pamplona. Economista de la Universidad Federal de Pernambuco, Brasil; con una maestría en Administración de Negocios de la Universidad de Nottingham, en Nottingham, Reino Unido.



ISBN (Digital): 978-628-7656-29-1