

Innovación tecnológica en cacao Andino

Producto 1. Informe que incluya el sistema de información geográfica para dos zonas productoras por país, con identificación de zonas homologas.

Edgar Alvaro Avila, Ph D

Henry Rubiano cMSc

Pablo Leonardo Quispe Ramos

Braulio Noé López Dueñas

2021





Códigos JEL: Q16

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un mecanismo único de cooperación técnica entre países de América Latina, el Caribe y España, que promueve la competitividad y la seguridad alimentaria. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), FONTAGRO, de sus Directorios Ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por Edgar Alvaro Avila, Ph D, Henry Rubiano cMSc, Pablo Leonardo Quispe Ramos, Braulio Noé López Dueñas. Con el apoyo de Jairo García Lozano PhD

Copyright © 2021 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial- SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:

FONTAGRO

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org

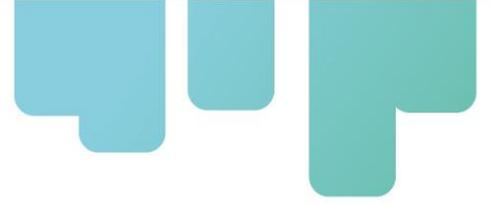
www.fontagro.org



Abstract	5
Resumen	6
Introducción	7
Objetivos	8
Metodología	9
Definición del Área de Estudio	9
Zonas Cultivadas en Cacao - Colombia.....	9
Departamento del Tolima	9
Departamento del Huila.....	11
Socialización y Delimitación Técnica de Zonas Productoras Cacaoteras.....	12
Zonas Cultivadas en Cacao – Perú.....	15
Ubicación geográfica y política para las regiones de Cusco y San Martín	15
Caracterización Edafológica de las Áreas Cultivadas en Cacao	17
Caracterización Edafológica de los Suelos en Colombia	17
Suelos del Departamento del Tolima.....	18
Suelos del Departamento del Huila	21
Caracterización Edafológica de los Suelos en Perú	26
INFORMACIÓN TOPOGRAFICA DEL TERRENO	26
MAPA DE PENDIENTES	28
Caracterización Climática de las Áreas Cultivadas en Cacao	30
Análisis del Comportamiento Climatológico de las Áreas Cultivadas en Colombia.....	30
Precipitación	30
Temperatura	32
Humedad Relativa.....	34



Brillo Solar	35
Evapotranspiración de Referencia (ETo).....	37
Balance Hídrico Atmosférico (BHA)	39
Análisis del Comportamiento Climatológico de las Áreas Cultivadas en Perú.....	40
Precipitación	41
Temperatura	43
Temperatura media	43
Temperatura máxima	44
Temperatura mínima	45
Presión de vapor de agua	46
Velocidad de viento	48
Radiación solar	49
Evapotranspiración potencial	50
Selección de Zonas Homólogas de Cacaos de Calidad Diferenciada	52
Selección y Caracterización de Zonas Homólogas para Colombia	52
Localización y Caracterización Biofísica de Sitios de Materiales de Calidad Diferenciada.....	53
Selección de Variables e Identificación de Zonas Homólogas.....	54
Selección y Caracterización de Zonas Homólogas para Perú.....	58
Capacidad de uso mayor de suelos (cum).....	59
Cobertura vegetal	60
Zonificación Biofísica de las Áreas con Diferente Aptitud para el Cultivo de Cacao....	61
Conclusiones	63
Recomendaciones.....	64
Referencias Bibliográficas.....	65
Instituciones participantes	68

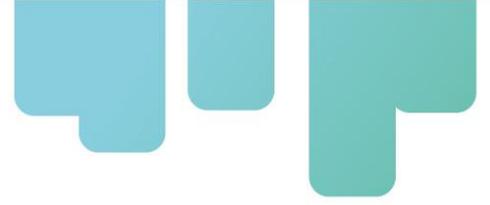


Abstract

The development, quality and yield of a crop is determined by the spatiotemporal variability of climatological and edaphological factors (physicochemical attributes) and the management practices implemented in the production process (planting time and density, irrigation, fertilization, among others). The cocoa developed as a productive system in regions with agricultural potential in Colombia and Perú, has grown in the last decades, coming to present materials of differentiated quality with special organoleptic characteristics. With the identification of these highly qualified materials, it is necessary a process methodology for recognize in which areas is possible their establishment based on a biophysical characterization. For this, climatological variables (precipitation and temperature) were selected; and edaphological spatially delimited under the implementation of Geographic Information Systems (GIS), extrapolating crop conditions to sites with homologous environmental offers, which without being zones with identical characteristics, if they are broadly representative and reliable to obtain similar patterns of development in the crop. With the implementation of these methodologies, it is possible to environmentally zoning differentiated materials with a view to encouraging investment and social development in each region.

Key words

Climatological Variables, Soil Variables, Cocoa, Biophysical Characterization, Geographic Information Systems.

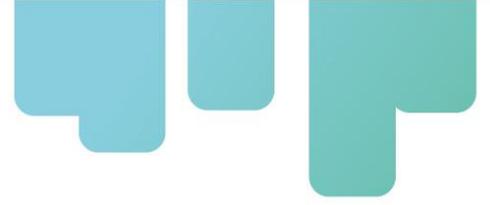


Resumen

El desarrollo, calidad y rendimiento de un cultivo está determinado por la variabilidad espaciotemporal de factores climatológicos, edafológicos (atributos fisicoquímicos) y las prácticas de manejo implementadas en el proceso productivo (época y densidad de siembra, riego, fertilización, entre otros). El cacao desarrollado como sistema productivo en regiones con potencial agrícola en Colombia y Perú, ha tomado auge en las últimas década, llegándose a presentar materiales de calidad diferenciada con características especiales del cultivo. Con la identificación de estos materiales altamente calificados, se requiere un proceso metodológico para zonificación de tierras que permitan conocer de manera acertada, áreas con mayor potencial para su establecimiento basado en una caracterización biofísica. Para ello, se seleccionaron variables climatológicas (precipitación y temperatura); y edafológicas delimitadas espacialmente bajo la implementación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), extrapolando las condiciones del cultivo a sitios con ofertas medioambientales homólogas, que sin ser zonas con características idénticas, si son ampliamente representativas y confiables para obtener patrones similares de desarrollo en el cultivo. Con la implementación de estas metodologías, es posible zonificar ambientalmente materiales diferenciados con miras a incentivar inversión y desarrollo social en cada región.

Palabras Clave:

VARIABLES CLIMATOLÓGICAS, VARIABLES EDAFOLÓGICAS, CACAO, ZONIFICACIÓN DE TIERRAS, CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA, SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.



Introducción

La implementación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la evaluación y gestión de los sistemas productivos ha venido en aumento en los últimos años dada la enorme capacidad de integrar múltiples características físicas y temáticas sobre un entorno geográfico. Es allí donde el uso de herramientas de procesamiento espacial toma relevancia no solo en la ordenación y planificación de los territorios, también en la caracterización y zonificación de cultivos buscando, a partir del análisis cuantitativo y cualitativo de las condiciones medioambientales disponibles, sitios de interés para la proyección agrícola.

Sistemas productivos como el cultivo de cacao, tienen gran importancia en regiones con potencial biofísico para Colombia y Perú, que al disponer de una alta variabilidad edafoclimática permite el desarrollo de materiales de calidad diferenciada. Sin embargo, estos materiales comúnmente son establecidos en suelos y condiciones climatológicas particulares para lograr la mejor expresión genética, por lo que se hace necesaria la implementación de metodologías que permitan proyectar las condiciones del cultivo a sitios con ofertas medioambientales similares.

En este documento, se presenta la definición y delimitación de las zonas productoras de cacao para dos zonas productoras para Colombia y Perú, los departamentos de Huila y Tolima, y las regiones de Cusco y San Martín en Perú, donde se realizó una caracterización edafoclimatológica de las áreas productoras de cacao y de los materiales de calidad diferenciada identificados en el proyecto. Posteriormente se definen las zonas homólogas las cuales comparten características medioambientales propias para el desarrollo del material.



Objetivos

- Generación de base de datos cartográfica: recopilación de información edafoclimática para identificar relaciones ambiente calidad.
- Generación de zonas homologas con factores de calidad y condiciones edafoclimáticas:



Metodología

Definición del Área de Estudio

Zonas Cultivadas en Cacao - Colombia

La consolidación del cultivo de cacao como producto de amplio desarrollo y mejora ha cobrado relevancia en los últimos años, pues hoy en el territorio nacional es considerado de alta importancia socioeconómica, acogido principalmente por cerca de 30,000 productores que en su mayoría presentan escasos recursos y bajos niveles de escolaridad, con plantaciones ubicadas en regiones con vías de acceso en mal estado y en algunos casos con dificultades del orden público (Ramírez et. al, 2020).

En Colombia, las principales zonas agroecológicas donde actualmente se encuentra establecido el cultivo corresponden a zonas montañosas santandereanas conformada por los departamentos de Santander y Norte de Santander; valles interandinos secos en departamentos como el Huila, Cauca, Valle del Cauca, Tolima, Vale del Zulia y la costa Atlántica; bosque húmedo tropical en zonas de Urabá, Tumaco, el Catatumbo, Arauca, Meta, Casanare y el Bajo Cauca; y zonas marginales bajas cafeteras en los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda, el suroeste de Antioquia, Cundinamarca, Santander, Boyacá y el norte del Tolima (Fedecacao, 2015). La definición de las áreas con mayor producción actual del cultivo de cacao se ha venido abordando a lo largo del tiempo, considerando las condiciones cambiantes del sistema productivo en relación con la variabilidad climática, el incentivo del cultivo mediante programas y proyectos de financiación por parte de instituciones gubernamentales, la designación y establecimiento de actividades económicas con mayor rentabilidad, entre otras.

En el marco del proyecto “Innovación Tecnológica en Cacao Andino con el Banco Interamericano de Desarrollo” – Convenio ATN/RF-16109-RG, se abordaron dos regiones estratégicamente seleccionadas para la caracterización y evaluación del cultivo de cacao andino, dentro de las cuales se destacan el departamento del Tolima y el departamento del Huila como grandes zonas con auge tanto en ocupación como en producción del cultivo.

Departamento del Tolima

Debido a su posicionamiento dentro del margen de la región ecuatorial, el departamento del Tolima cuenta con múltiples niveles térmicos de montaña que van desde los 5,000 m.s.n.m correspondientes a cumbres nevadas como las del Nevado del Huila y el Nevado del Tolima pertenecientes al Parque Nacional Natural Las Herosas con temperaturas bajas, hasta zonas calurosas en sus amplios valles por debajo de los 400 m.s.n.m de alta temperatura cercanas a los



Estudios como en García et al. (2007) dan una mayor perspectiva de caracterización de producción cacaotera sobre las zonas sur y oriente del departamento. La zona sur ha tomado relevancia a partir de proyectos de transferencia de tecnología financiados por los programas de lucha contra las drogas en zonas de influencia del conflicto armado colombiano antes del proceso de paz y en tiempos del posconflicto, por los recursos para la consolidación de la paz (Chica, J. et al., 2020). Por otra parte, la zona oriental ha recibido menos apoyo por parte de los gremios y programas pausando su crecimiento a tiempos actuales, debido a factores como la presión sobre el uso de la tierra por parte del sector turismo, influyendo notablemente su costo en entornos rurales motivando a un rezago del interés.

Departamento del Huila

La variabilidad climática del departamento del Huila se origina debido a su diversidad de pisos térmicos como resultado de la orografía y la interacción de factores climáticos como la precipitación, temperatura, humedad relativa, brillo solar y los vientos, estos últimos originado por las corrientes de aire provenientes de las cordilleras central y oriental produciendo los llamados “vientos orográficos”. El gradiente térmico varía en función del relieve donde las superficies cálidas tales como el desierto de la Tatacoa y los valles presentan temperaturas iguales o superiores a los 28°C al norte de departamento; al sur se extiende la zona de producción agrícola y ganadera con superficies templadas del orden de los 24°C; y las zonas más frías principalmente sobre el margen de las cadenas montañosas con temperaturas cercanas a los 0°C (Gráfico 2).

En términos de producción agrícola el departamento se encuentra dentro de los principales productores de cacao a nivel nacional con cerca de 13,533 ha establecidas representando un 8%, distribuidas en los municipios de Neiva, Gigante, Garzón, Rivera y Tesalia, y con una producción de 4,822 ton (SIOC, 2018). Como proyección económica de la región, el programa de productividad y competitividad del Huila contempla el cultivo como la apuesta productiva de más importancia con ventajas comparativas en términos de condiciones agroclimáticas favorables con respecto a otros departamentos (Eslava, 2011).

El caso del departamento del Huila, su mayor producción se centra en los valles interandinos secos, que progresivamente han aumentado en productividad y extensión en los últimos años. Zonas en condiciones climáticas óptimas con precipitaciones inferiores a los 1,500 mm y altitud inferior a los 900 m.s.n.m situadas en superficies planas y onduladas, son consideradas regiones de óptimo establecimiento del cultivo (Ramírez et. al, 2020). Según datos de la Gobernación del Huila (2015, 2017), se tiene que los municipios con mayor área sembrada son Rivera, Tello, Neiva, Campoalegre y Gigante con 892.14, 518.16, 472, 461.45 y 427.45 ha respectivamente. Igualmente se resaltan municipios con áreas menores a las 100 ha pero con producción altas del orden de los 0.7 ton/ha/año como Garzón y Timana.

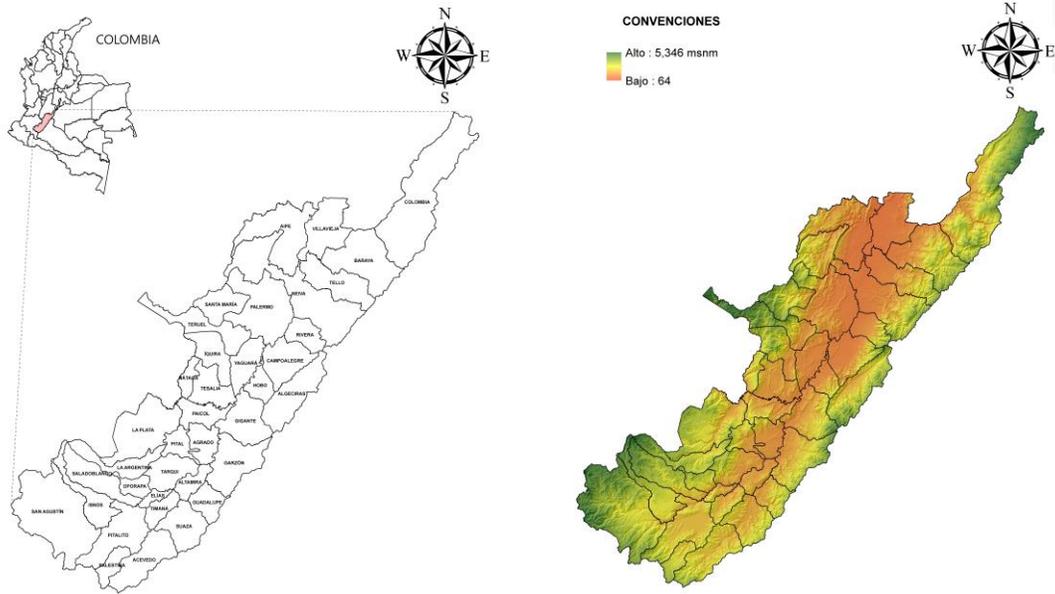


Gráfico 2. Ubicación espacial del departamento del Huila

Socialización y Delimitación Técnica de Zonas Productoras Cacaoteras

Uno de los enfoques iniciales contemplados en el presente proyecto se basa en la delimitación espacial de las zonas productoras de cacao en las regiones abordadas. Esta espacialización del cultivo permite no solo conocer su distribución y la concentración de pequeños o grandes productores a lo largo del territorio, también permite caracterizar desde una perspectiva biofísica las condiciones medioambientales a las cuales se encuentran expuestos estos cultivos y así evaluar su capacidad de adaptación. Así mismo, alienta a determinar factores edafoclimáticos que permitan la extrapolación de dichas condiciones biofísicas a zonas de no producción reportadas a la fecha y poder determinar regiones homólogas con un potencial similar de producción.

Para lograr esto, es necesaria la integración y cooperación de los diferentes gremios, proyectos, programas e instituciones involucradas en torno al cultivo de cacao con el fin de generar un conocimiento inicial de aquellas zonas productoras dada la experiencia que se dispone en campo. Es por ello, que para el presente proyecto, se desarrollaron mesas técnicas y talleres participativos con Profesionales y Técnicos pertenecientes a instituciones u organización y así referenciar núcleos organizacionales y cordones productivos para las regiones.

Una primera aproximación espacial se generó a partir de un rango altitudinal que a través de consultas con expertos y la revisión literaria se estableció entre los 600 – 1,400 m.s.n.m, considerándose como un rango óptimo dentro de los requerimientos biofísicos para el cultivo de

cacao. Es de resaltar que la definición de esta franja altitudinal no representó un condicionante para la delimitación final de las zonas establecidas, dado que actualmente por condiciones de variabilidad climática es posible que se presenten cultivos transitorios o marginales (zonas superiores a los 1,400 m.s.n.m o inferiores a los 600 m.s.n.m). Martínez (2013), sustenta la existencia de zonas con buenas expectativas para la producción del cultivo por encima de los 1,200 m.s.n.m. adaptadas a un microclima especial para su establecimiento, aunque en la literatura no es recomendable ya que aumentaría el riesgo de provocar daños fisiológicos y sanitarios a las plantas. Así mismo, en algunas regiones de los departamentos de Arauca, Antioquia y Nariño se han reportado zonas productoras por debajo de los 400 m.s.n.m., con plantaciones de buen desarrollo y rendimiento (Ramírez et. al, 2020).

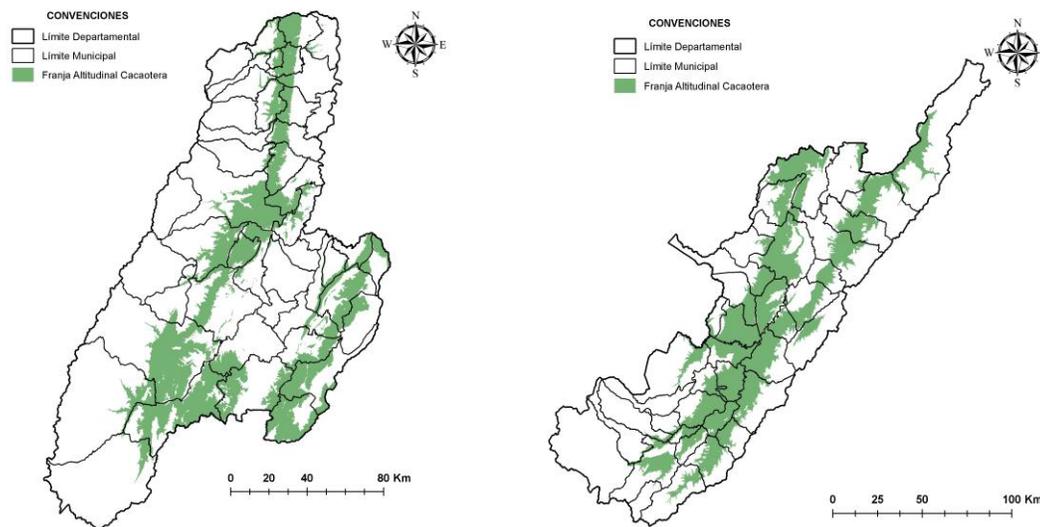


Gráfico 3. Delimitación inicial de la franja altitudinal cacaotera para los departamentos de Tolima y Huila.

Con la implementación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se definió la franja altitudinal cacaotera sobre los departamentos del Tolima y Huila (Gráfico 3), denotando las diferentes zonas con potencial altitudinal para el desarrollo del cultivo. Partiendo de lo anterior, se definió la distribución de ventanas gráficas a escala 1:25,000 a fin de aportar elementos geoespaciales fácilmente identificables en las mesas técnicas para la identificación de zonas productoras contemplando cartografía base para su elaboración tales como límites administrativos (departamentales, municipales, veredales), infraestructura (centros poblados, vías) e hidrografía (red de drenajes principales y secundarios).

Durante el desarrollo de los talleres participativos, se plasmó de manera más focalizada la distribución del denominado cordón cacaotero para los departamentos del Tolima y Huila, surgiendo criterios biofísicos de delimitación como la topografía (curvas de nivel), redes hídricas

y límites administrativos como base para la depuración de la información entregada por el grupo interdisciplinar del proyecto. Como resultado del proceso de socialización se logró la descripción espacial de las áreas productoras cacaoteras para los Departamentos del Tolima y Huila (Gráfico 4), atendiendo las diversos aportes y sugerencias emitidas por parte del grupo técnico y profesional en cada mesa de trabajo.

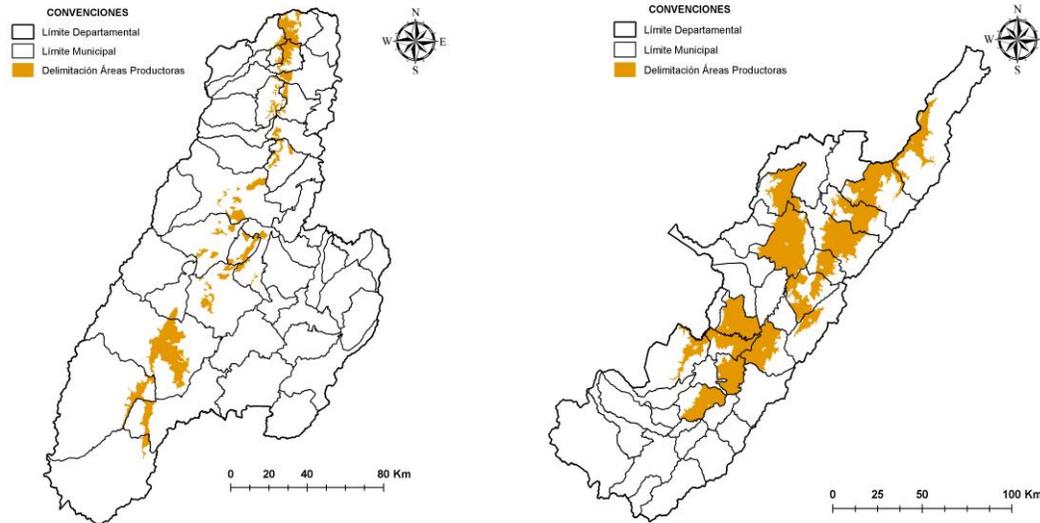


Gráfico 4. Delimitación de las áreas productoras cacaoteras construidas a partir de la cartografía social para los departamentos del Tolima y Huila

Dada la amplia distribución de las áreas identificadas, estas se subdividen en grupos o zonas representativas a nivel regional, permitiendo evaluar de forma sectorial la caracterización biofísica a partir de la descripción de variables edafoclimáticas previamente definidas por el grupo interdisciplinar del proyecto. Para el Departamento del Tolima se consideraron tres zonas: La *zona norte*, contemplando los municipios de San Sebastián de Mariquita (11,032 ha), Falan (7,543 ha), Alvarado (4,812 ha), Líbano (3,569 ha), Armero (3,179 ha), Lérida (2,616 ha), Fresno (2,417 ha), Venadillo (1,923 ha), Palocabildo (1,893 ha) y Santa Isabel (169 ha). La *zona centro*, definida sobre los municipios de Ibagué con un área delimitada de 10,078 ha, Ortega con 7,287 ha, Rovira con 4,983 ha, San Luis con 3,709 ha y Valle de San Juan con 6,336 ha. Y por último, la *zona sur*, representada principalmente por los municipios de Planadas, Ataco, Rioblanco, Chaparral y Rovira, constituyen las áreas con mayor proporción reportadas y representadas para el departamento, resaltando en gran medida la amplia distribución y producción sobre el municipio de Chaparral con un área delimitada de producción de 37,152 ha, el municipio de Rioblanco con 9,253 ha y el municipio de Ataco con 6,594 ha.

Para el caso del Departamento del Huila, se realizó la subdivisión contemplando tres zonas geospaciales a lo largo del departamento dentro de las cuales tenemos: La *zona norte*,



comprendida por los municipios de Baraya con aproximadamente 36,435 ha de área productora delimitada, el municipio de Colombia con cerca de 25,989 ha y el municipio de Tello con 24,858 ha. Debido a la distribución de las áreas restantes, se optó por la categorización de *zona centro – norte* conformada por las áreas situadas sobre los municipios de Neiva (63,690 ha), Palermo (62,486 ha), Campoalegre (24,371 ha), Rivera (11,737 ha) y Algeciras (8,043 ha). Así mismo, la *zona centro – sur* que abarca los municipios de Tesalia (33,148 ha), Gigante (28,628 ha), Agrado (23,823 ha), Tarqui (23,110 ha), Paicol (20,520 ha) y La Plata (14,354 ha).

Estas áreas delimitadas de producción actual del cultivo de cacao no corresponden necesariamente a una distribución predial de los productores, ya que el acceso a información puntual brindada por entidades, instituciones y gremios es muy limitado, por lo que optar por una identificación de zonas productoras a nivel veredal brinda un mayor detalle en la distribución espacial de los cultivos.

Zonas Cultivadas en Cacao – Perú

Para la realización del proyecto se llevó a cabo una serie de coordinaciones con el equipo interdisciplinar de trabajo, en las cuales se ajustaron criterios y se definieron los objetivos y metas a fin de dar inicio con las actividades proyectadas en el marco del proyecto. Dentro de estas actividades iniciales se hace necesaria la consolidación de una base de datos en clima, suelos, coberturas e infraestructura de tal forma que se recreen escenarios ambientales óptimos y extremos en el establecimiento de cultivos de Cacao en las regiones de Cusco y San Martín.

Asimismo, se definió lo que llamamos zonas altitudinalmente aptas para el establecimiento de cultivos de Cacao Andino (*Theobroma cacao* L.) delimitadas sobre las márgenes de los 200 – 1,900 msnm sobre las regiones en estudio. Teniendo demarcada esta franja altitudinal, se buscó la interacción social con los usuarios, grupos y asociaciones productoras de Cacao en los diferentes distritos recopilando información de la ubicación de sitios altamente productores, y proyectarlos espacialmente en los sistemas de información geográfica (SIG) a tal fin de obtener puntos de referencia óptimos para futuros análisis en campo.

En definitiva, estos análisis interactuarán con los requerimientos necesarios para el cultivo y los escenarios edafo-climáticos generados a partir del sistema de información recreando zonas aptas para el establecimiento del sistema productivo de Cacao.

Ubicación geográfica y política para las regiones de Cusco y San Martín

Las zonas productoras de Cacao se encuentran ubicadas en la parte norte y sur del Perú, específicamente en los distritos Santa Ana, Echarate y Quelluno perteneciente a la región de Cusco y los distritos de Huallaga (Ledoy), Pajarillo, Polvora, Huicungo, Pachiza, y Juanjui perteneciente a región de San Martín, tal como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Ubicación de las zonas productoras de Cacao

Región	Provincia	Distrito
Cusco	Quillabamba	Echarate
		Quellouno
		Santa Ana

Región	Provincia	Distrito
San Martín	Bellavista	Huallaga - Ledoy
	Mariscal Cáceres	Pajarillo
		Huicungo
		Pachiza
		Juanjui
	Tocache	Pólvora

En cuanto, a su ubicación geográfica las 02 zonas productoras a nivel regional y distrital se presentan en coordenadas UTM (Este-m, Norte-m) y su Datum WGS 84, tal como se muestra en el gráfico 5 y 6.

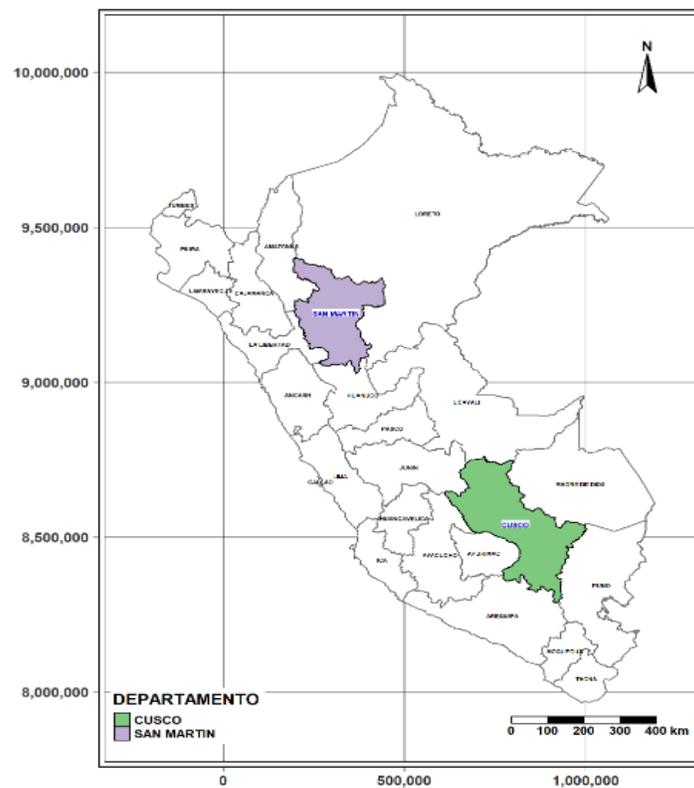


Gráfico 5. Ubicación General a nivel de regiones a) Zona Norte la región San Martín y Zona Sur la región de Cusco

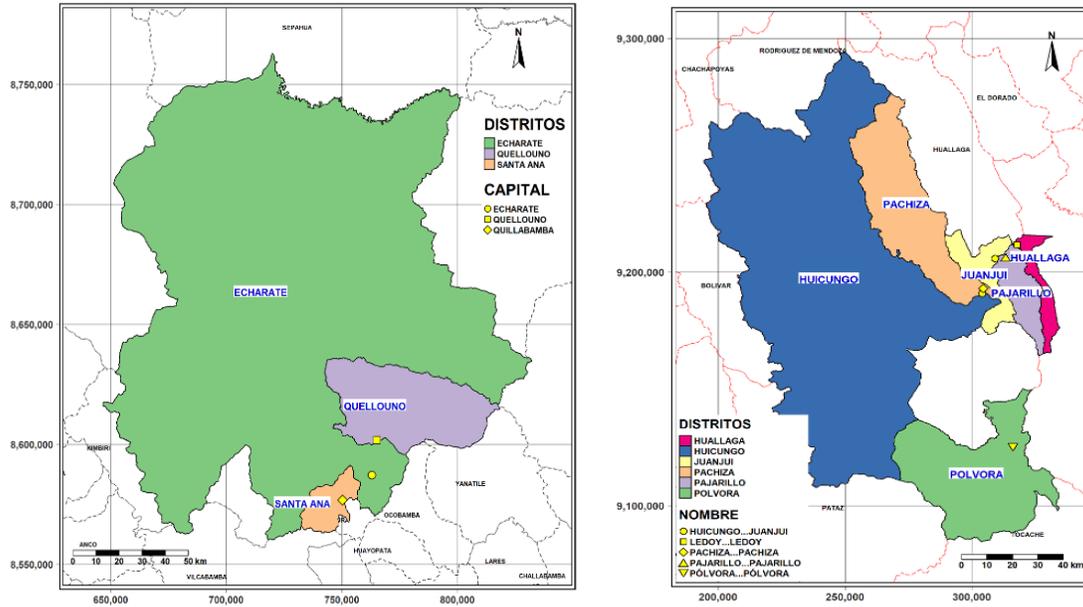


Gráfico 6. Ubicación General a nivel distrital a) Margen Derecha Distritos de San Martín y Margen izquierda Distritos de Cusco

Caracterización Edafológica de las Áreas Cultivadas en Cacao

Caracterización Edafológica de los Suelos en Colombia

Los cultivos de cacao que actualmente se encuentran en los departamentos de Tolima y Huila se han establecido históricamente en una variedad de suelos y geoformas, que junto con los ambientes climáticos que los afectan, han permitido a través del tiempo el desarrollo de la zona cacaotera en esta región de los andes colombianos. En general, los suelos de este territorio son de diferentes tipologías, de baja a moderada evolución, con diferentes grados de profundidad efectiva y de texturas y drenajes variados.

Los paisajes dominantes son las montañas y piedemontes, y dentro de ellos, se encuentran diversas geoformas con relieves que varían desde planos y ligeramente inclinados, hasta moderadamente ondulados y fuertemente quebrados. Estas geoformas presentan rangos de pendientes que pueden ir desde 0 a 3%, hasta mayores del 75%; en algunos sectores, los suelos localizados en los rangos de mayor pendiente han venido presentando procesos erosivos, los cuales, comprometen su capacidad productiva.

El análisis de los suelos se realizó con base en el Estudio General de Suelos y Zonificación de



Tierras de los departamentos de Tolima y Huila a escala 1:100.000 (IGAC, 2002, 2004). Inicialmente se seleccionaron cartográficamente las áreas que actualmente se encuentran cultivadas en cacao y a partir de ella, se delimitaron las unidades cartográficas de suelos (UCS) que caracterizan las zonas cacaoteras de los dos departamentos.

En este capítulo se presentan algunas de las propiedades y características morfológicas más importantes de los suelos donde se encuentra establecida la zona cacaotera de los dos departamentos. En el estudio general de suelos, cada Unidad Cartográfica de Suelos (UCS), está conformada por más de una tipología de suelos; en este caso, para el análisis se seleccionó el tipo de suelo con porcentaje dominante dentro de la UCS y se le denominó suelo principal o dominante, y a partir de él, se realizó en este estudio la descripción y caracterización de los suelos en los pisos altitudinales medio y cálido, que es donde actualmente se localizan los cultivos de cacao en Tolima y Huila.

Suelos del Departamento del Tolima

En el departamento del Tolima, el cultivo de cacao históricamente se ha establecido en la zona montañosa y piedemonte del flanco oriental de la cordillera central, en alturas inferiores los 2.000 msnm. Los suelos en los que se encuentra el cultivo pertenecen en su mayoría a los órdenes Inceptisol y Entisol, y en menor proporción, a los órdenes Andisol, Molisol y Alfisol. A partir de la distribución espacial de los cultivos y suelos de la franja cacaotera, se agruparon geográficamente tres sectores claramente diferenciados: zona norte, zona centro y zona sur del departamento del Tolima. A partir de las zonas mencionadas es como se abordó en este documento la caracterización geomorfopedológica y climática de la zona cultivada en cacao en el Tolima (Gráfico 7).

Suelos de la Zona Norte

La zona norte del departamento del Tolima se localiza entre las coordenadas 5°18' 44.09" y 4°30'0.07" de latitud norte y 75°4'9.79 y 74°53'35.56" de longitud oeste (Gráfico 8). En este sector, los suelos cultivados en cacao se distribuyen en los paisajes de montaña y piedemonte (IGAC, 2005); en la montaña, sobresalen las geoformas de filas y vigas, cañones, taludes y lomas, que han evolucionado bajo condiciones altitudinales y climáticas correspondientes a los pisos térmicos medio húmedo y muy húmedo, y en menor proporción, cálido y seco. En el piedemonte, por su parte, los suelos se han desarrollado en ambiente cálido y seco. En el paisaje montañoso las pendientes son más pronunciadas y caracterizan relieves que varían de moderadamente ondulados a fuertemente quebrados. En el piedemonte el relieve se suaviza considerablemente y las pendientes generalmente son inferiores al 12%. A continuación, se describen los principales suelos de la zona cacaotera del norte del departamento.

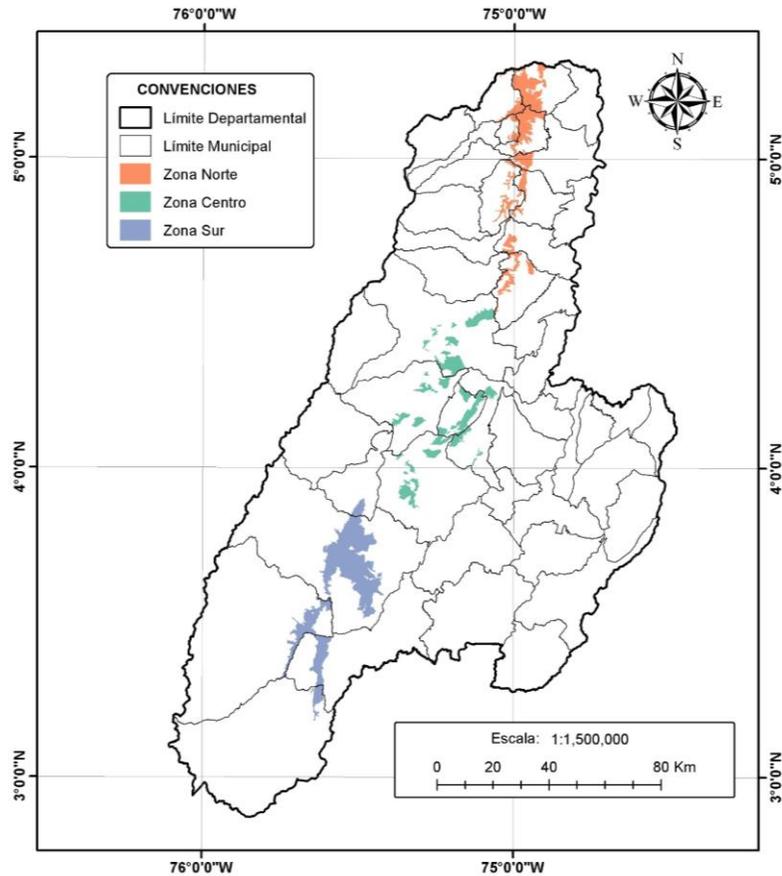


Gráfico 7. Mapa con la distribución de zonas productoras de cacao en el departamento del Tolima.

Suelos de la Zona Centro

Geográficamente esta zona se encuentra entre las coordenadas $4^{\circ}31' 2.97''$ y $3^{\circ}52' 7.64''$ de latitud norte y $75^{\circ}24' 47.86$ y $75^{\circ}2' 33.40''$ de longitud oeste (Gráfico 9). Los cultivos de cacao localizados en la zona centro del departamento del Tolima están establecidos principalmente en el paisaje de montaña, que presenta relieves ondulados a quebrados y pendientes en su mayoría superiores al 25%. Este sistema montañoso hace parte de los pisos altitudinales medio y cálido, en los que predomina la condición de humedad ambiental muy húmeda, húmeda y seca. En menor proporción los cultivos se han establecido en el paisaje de piedemonte, el cual, presenta relieves más suaves (pendientes inferiores al 10%) y condición ambiental seca. La diversidad de relieve, temperatura y humedad ambiental han permitido la evolución de suelos con diferentes propiedades y morfología. Los principales suelos de la zona cacaotera del centro del departamento, así como sus características asociadas, se describen a continuación.

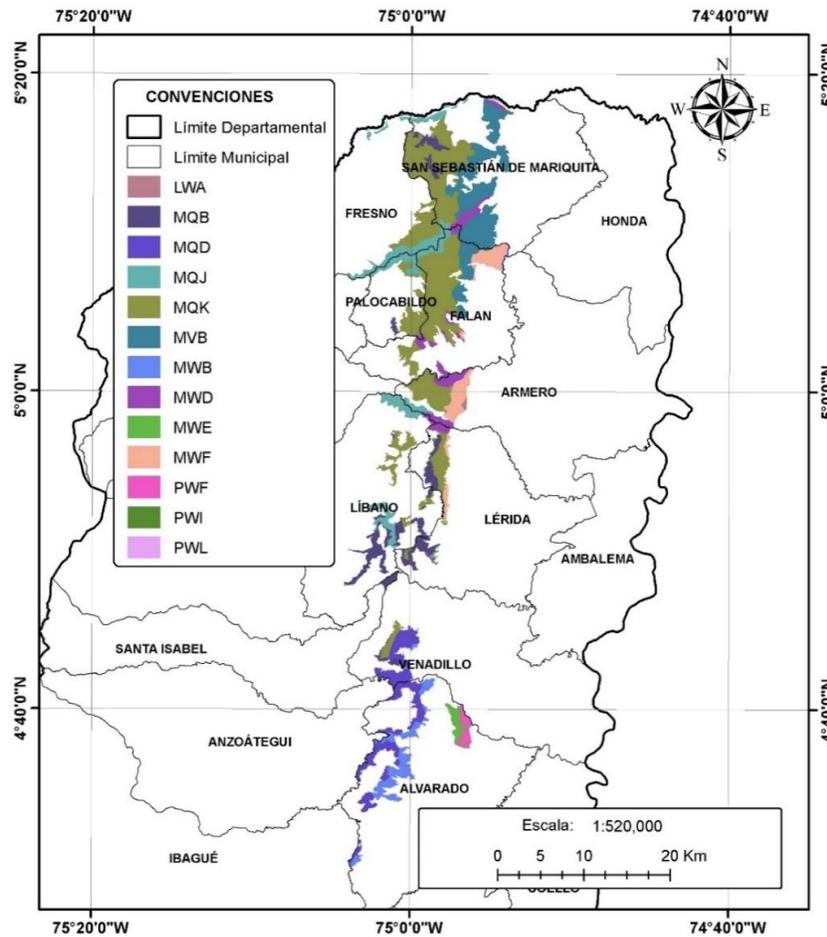


Gráfico 8. Mapa de distribución de las unidades de suelos de la zona cacaotera del norte del departamento del Tolima.

Suelos de la Zona Sur

La zona cacaotera del sur del Tolima se localiza principalmente en los paisajes de montaña, piedemonte y valle de la cordillera central andina, entre las coordenadas $3^{\circ}54' 9.38''$ y $3^{\circ}10'54.39''$ de latitud norte y $75^{\circ}46'15.21$ y $75^{\circ}25'3.25''$ de longitud oeste (Gráfico 10). En este sector, los cultivos se han establecido en relieves que van desde planos a ligeramente inclinados (terrazas y vallecitos), ligera a moderadamente ondulados (abanicos) y moderada a fuertemente quebrados (lomas, colinas, filas y vigas, espinazos, taludes y cañones). En estas geoformas se encuentran suelos de baja evolución, pertenecientes principalmente a los órdenes taxonómicos Inceptisol y Entisol. La zona cacaotera del sur del departamento se distribuye en un ambiente altitudinal y climático medio húmedo a muy húmedo, y en la parte más baja de la cordillera en ambiente cálido y seco; a continuación, se describen las características de los suelos de este sector.

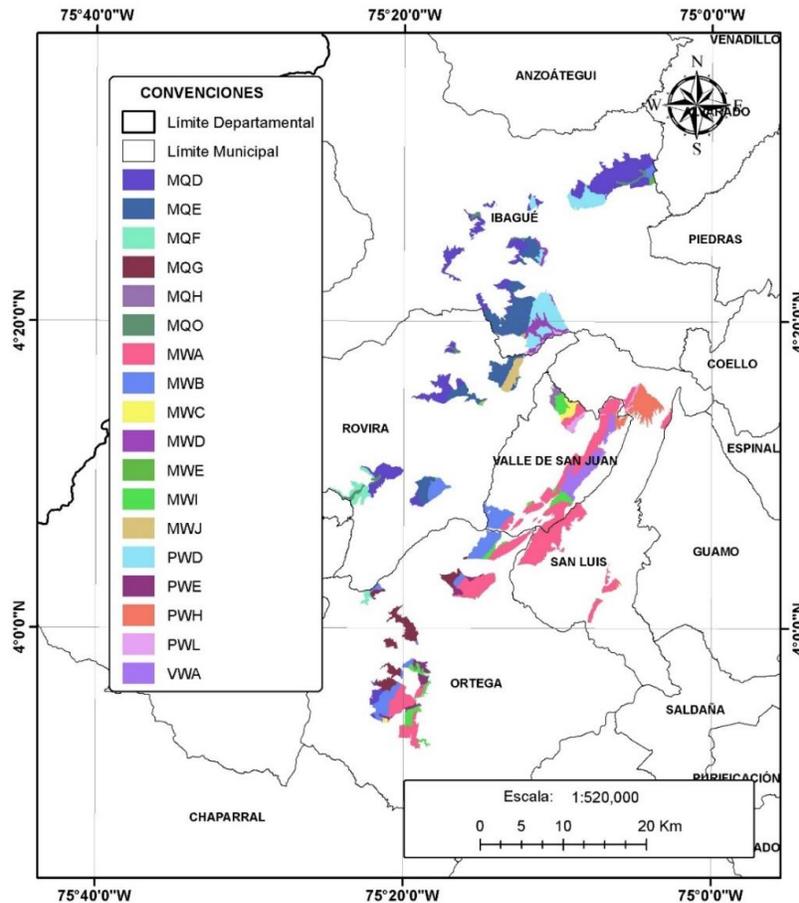


Gráfico 9. Mapa de distribución de las unidades de suelos de la zona cacaotera del centro del departamento del Tolima.

Suelos del Departamento del Huila

En el departamento del Huila los cultivos de cacao se han establecido en los pisos altitudinales medio y cálido, haciendo parte de los paisajes de montaña, piedemonte, lomerío y valle. Los cultivos se distribuyen en diversos relieves que van desde ligeramente planos hasta fuertemente quebrados y en suelos de diferentes tipologías. Los suelos en los que predomina el cultivo son suelos de baja a moderada evolución y pertenecen a los órdenes Entisol, Inceptisol, Molisol y Alfisol principalmente. En algunos sectores de la zona cacaotera se vienen presentando procesos erosivos de intensidad ligera, moderada y severa, que reducen la calidad del suelo y disminuyen su capacidad productiva. La condición de humedad ambiental varía entre húmeda, seca y muy seca; estas dos últimas, limitando el desarrollo del cultivo por la deficiencia de humedad en el perfil del suelo. No obstante, el riego suplementario y el fertirriego han permitido superar esta limitante en el suelo. En la Gráfico 11 se encuentra la distribución de zonas productoras de cacao en el Huila; en el presente estudio, la zona cacaotera del departamento se dividió en tres zonas

claramente definidas: zona norte, zona centro-norte y zona centro-sur.

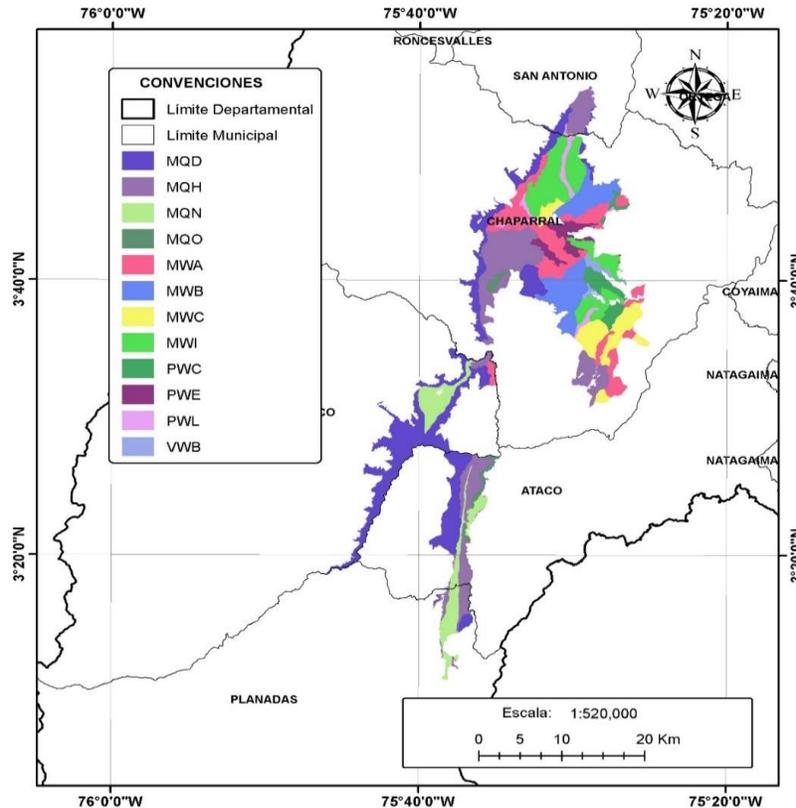


Gráfico 10. Mapa de distribución de las unidades de suelos de la zona cacaotera del sur del departamento del Tolima.

Suelos de la Zona Norte

La zona cacaotera del norte del Huila se ubica principalmente en los paisajes de montaña, piedemonte y valle, entre las coordenadas $3^{\circ}35' 50.19''$ y $2^{\circ}55'55.82''$ de latitud norte y $75^{\circ}12'58.18$ y $74^{\circ}40'47.29''$ de longitud oeste (Gráfico 12). Los suelos más representativos de este sector del departamento son los entisoles e inceptisoles que son suelos de baja evolución y, en menor proporción, se encuentran molisoles y alfisoles, cuya evolución es moderada. El régimen de humedad de los suelos es, en su mayoría, ústico; este régimen de humedad implica que en el perfil del suelo se presenta un déficit marcado de humedad en por lo menos un semestre al año, lo cual implica la necesidad de utilizar riego suplementario para suplir la demanda hídrica del cultivo. Los suelos característicos de la zona norte del Huila, así como sus principales características se describen a continuación.

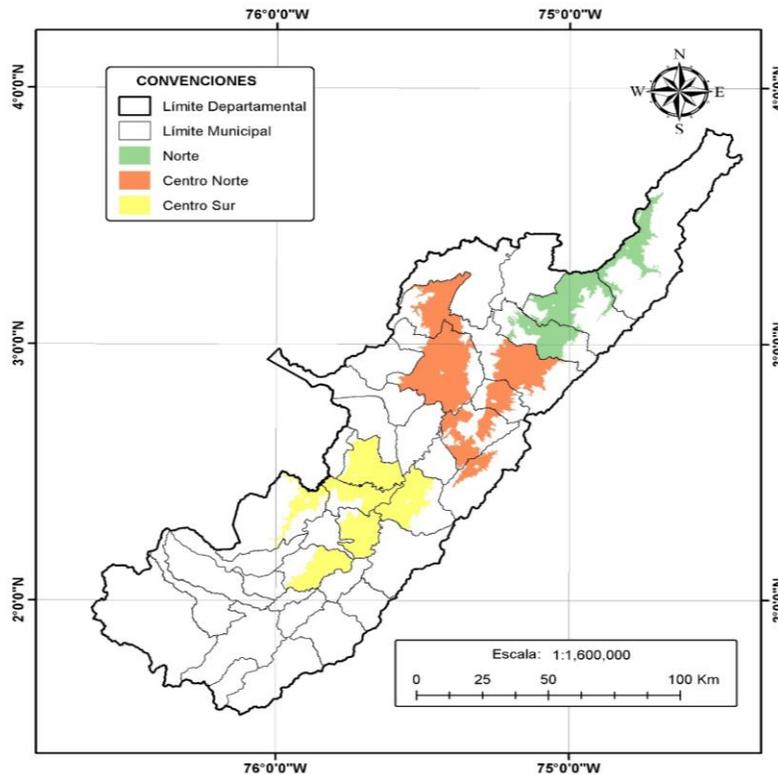


Gráfico 11. Mapa con la distribución de zonas productoras de cacao en el departamento del Huila.

Suelos de la Zona Centro-Norte

La zona cacaotera del centro-norte del departamento del Huila se ubica principalmente en los paisajes de montaña, piedemonte, lomerío y valle, y se localiza geográficamente entre las coordenadas $3^{\circ}17' 2.46''$ y $2^{\circ}26'25.28''$ de latitud norte y $75^{\circ}35'7.59$ y $74^{\circ}59'34.38''$ de longitud oeste (Figura 7). En este sector del departamento la condición de humedad ambiental varía entre húmedo y seco (transicional a muy seco). Los suelos en su mayoría pertenecen a los órdenes Entisol e Inceptisol (suelos de baja evolución) y en menor proporción a los órdenes Molisol y Alfisol (suelos de moderada evolución). Las principales características de estos suelos se presentan a continuación.

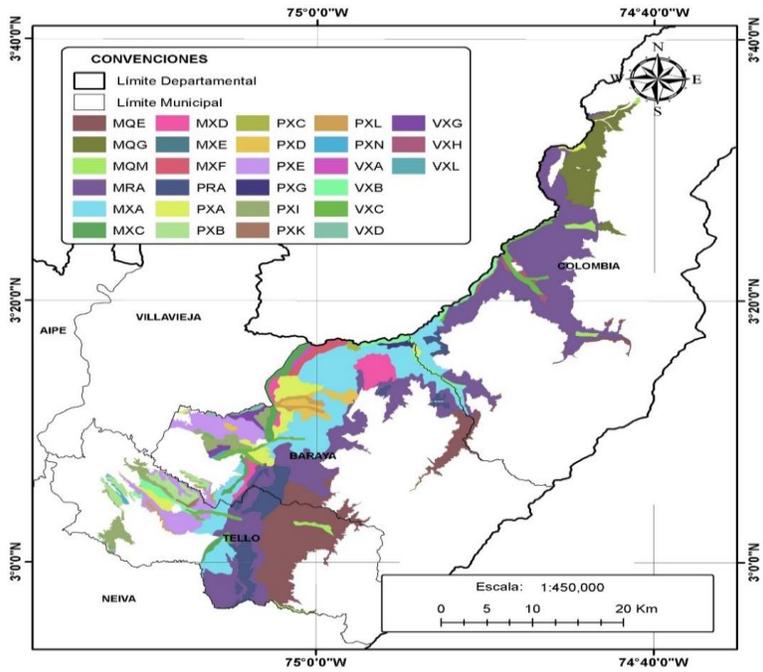


Gráfico 12. Mapa de distribución de las unidades de suelos de la zona cacaotera del norte del departamento del Huila.

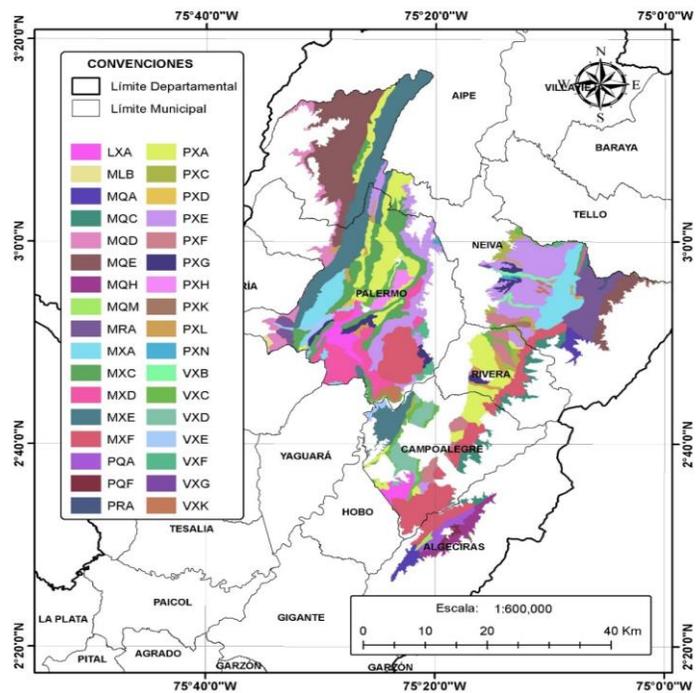


Gráfico 13. Mapa de distribución de las unidades de suelos de la zona cacaotera del centro-norte del departamento del Huila.

Suelos de la Zona Centro-Sur

La zona cacaotera del centro-sur del departamento del Huila se localiza entre las coordenadas $2^{\circ}38'32.18''$ y $2^{\circ}2'0.22''$ de latitud norte y $76^{\circ}1'26.12$ y $75^{\circ}26'29.13''$ de longitud oeste (Gráfico 14). En este sector, los suelos, al igual que en los sectores norte y centro-norte del departamento, se distribuyen en los paisajes de montaña, piedemonte, lomerío y valle, bajo una condición de humedad ambiental que varía de húmeda a muy seca. De igual forma, los suelos dominantes pertenecen principalmente a los órdenes Inceptisol y Entisol, que son suelos de escaso desarrollo pedogenético. A continuación, se describen las principales características de los suelos de la zona centro-sur del departamento.

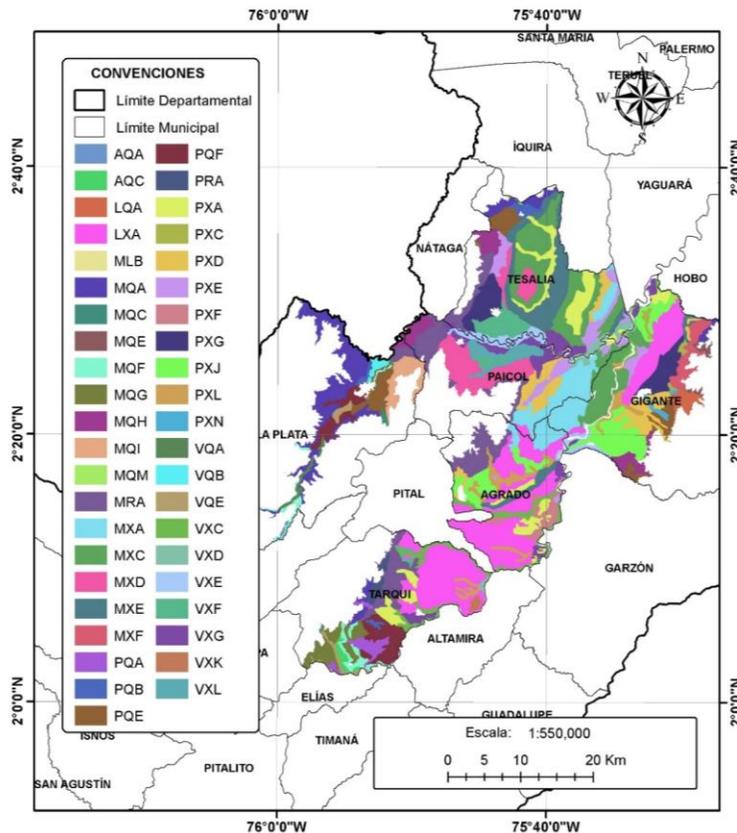


Gráfico 14. Mapa de distribución de las unidades de suelos de la zona cacaotera del centro-sur del departamento del Huila.

Caracterización Edafológica de los Suelos en Perú

Información topográfica del terreno

Para determinar la topografía para los distritos en estudio, se utilizó los datos espaciales de Alaska Satellite Facility (ASF) en su producto ALOS PALSAR, siendo uno de los tres mecanismos en el satélite de observación avanzada de la tierra-1 (ALOS), proporcionando modelos corregidos en su proyecto RTC (radiometrically terrain-corrected) a una alta resolución espacial de 12.5 m x 12.5 m, tal como se muestran en los gráficos 15 y 16.

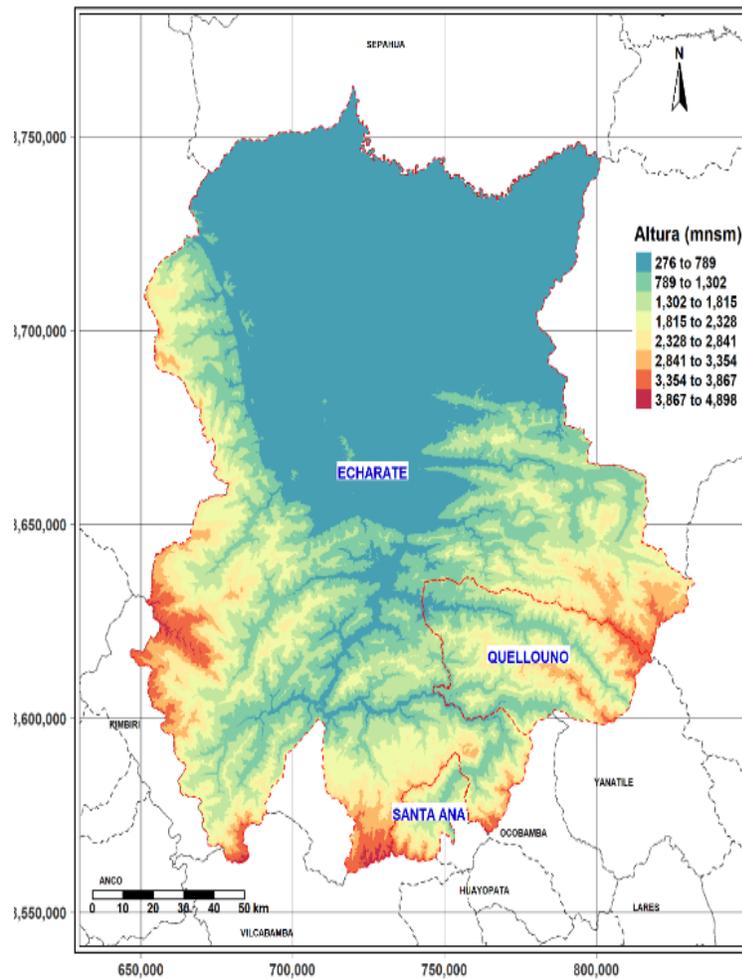


Gráfico 15 Modelo de Elevación Digital (DEM) Alos Palsar Distrito de San Martín

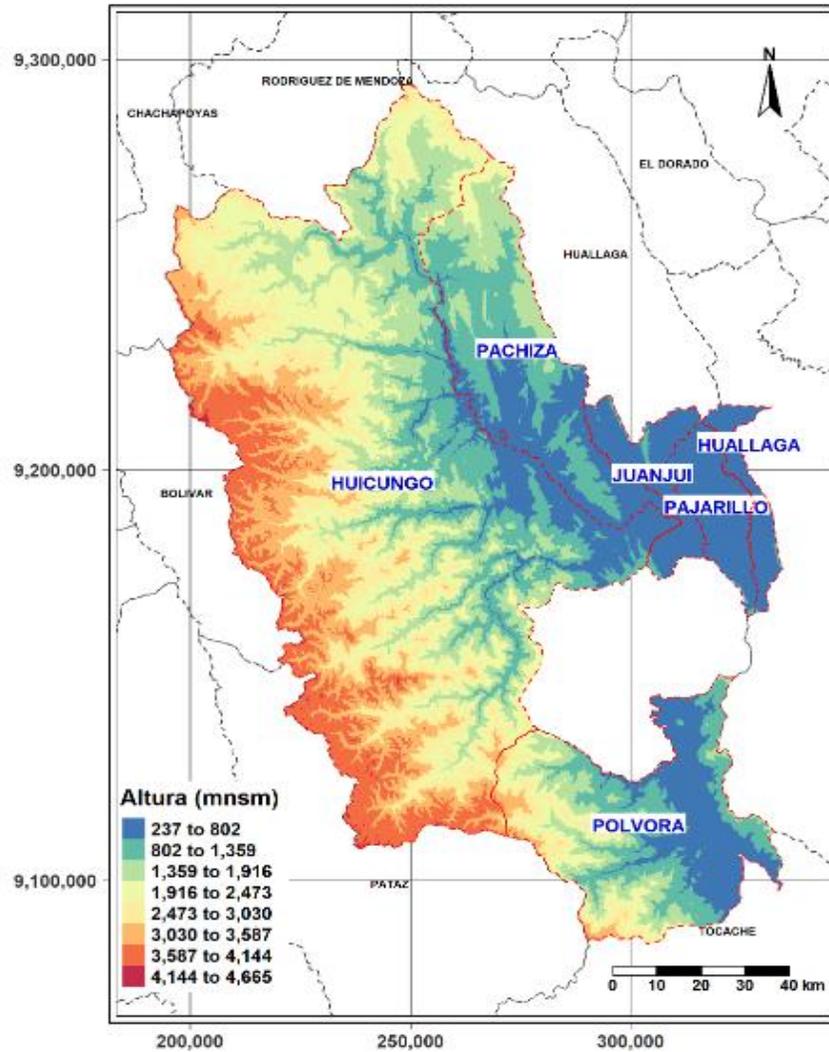


Gráfico 16 Modelo de Elevación Digital /DEM) Alos Pallas Distritos de Cusco

Según los resultados se observa una variación altitudinal que oscila desde los 200 msnm que representan las zonas más bajas hasta los 4800 msnm que representan las zonas más altas. Las zonas productoras de Cacao se encuentran ubicadas a altitudes de los 200 a 1900 msnm. El modelo de elevación digital (DEM) nos muestra una representación visual y matemática de los valores de altitud con respecto al nivel medio del mar, caracterizando las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo.

Mapa de pendientes

La pendiente se refiere aquel declive que posee el terreno y la inclinación que existe respecto a la horizontal correspondiente a una vertiente. De acuerdo con su clasificación se definieron 5 categorías de pendiente, siendo las siguientes: plana (de 0° a 1°), ligeramente suave (de 1° a 3°), suave (de 3° a 5°), moderada (de 5° a 15°) y fuerte (mayor a 15°) (MOPUt, 1991).

Según los mapas de pendiente (ver Gráficos 16 y 17), se observa que las zonas productoras de Cacao se encuentran ubicadas zonas con pendientes que oscilan desde los 0° hasta los 32° aproximadamente, consideradas en el rango de pendientes de categorías plana a fuertes.

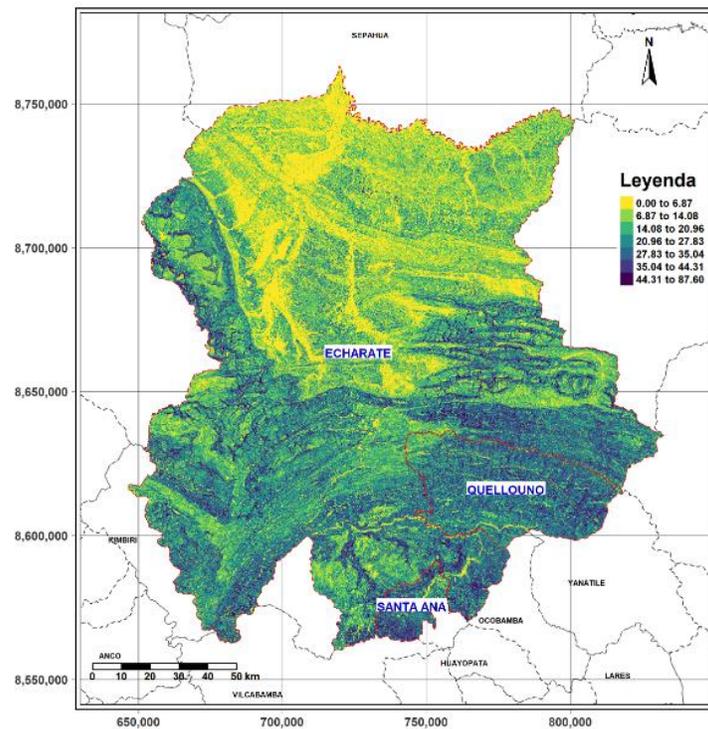


Gráfico 17 Mapa de Pendientes Distrito de San Martín

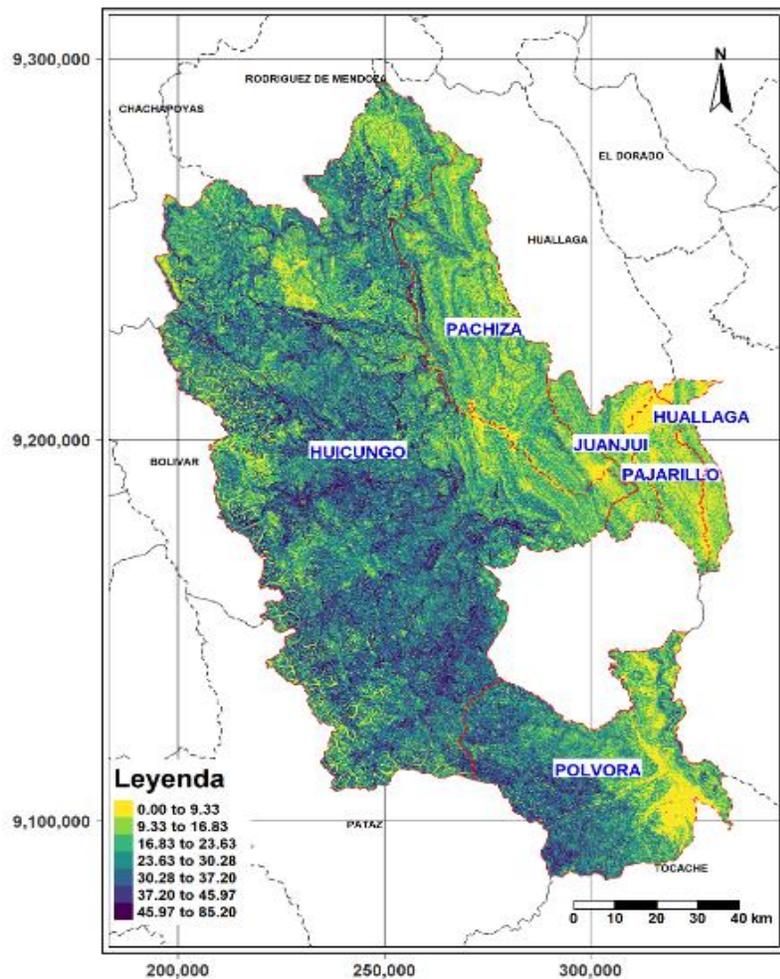


Gráfico 18 Mapa de Pendientes a Distrito de Cusco



Caracterización Climática de las Áreas Cultivadas en Cacao

Análisis del Comportamiento Climatológico de las Áreas Cultivadas en Colombia

El análisis del comportamiento climatológico representa un elemento importante y de gran influencia en la caracterización presente y futura del clima sobre las regiones. Partiendo de lo anterior, es relevante considerar el estudio de variables explicativas de fenómenos meteorológicos para así determinar sus efectos sobre las diferentes actividades socioeconómicas desarrolladas. Fenómenos de gran transcendencia como el Ciclo El Niño, La Niña – Oscilación del Sur – ENOS, que afecta interanualmente la franja tropical del Océano Pacífico, ha originado graves consecuencias principalmente a las costas de países tropicales como lo son el norte de Perú, Ecuador y Colombia. Estos fenómenos están directamente asociados a la variabilidad térmica en aguas superficiales del Pacífico con tendencias al calentamiento (El Niño) o al enfriamiento (La Niña) ocasionados por el “debilitamiento de los vientos alisios del Este y con el desplazamiento del núcleo de convección profunda del Oeste al Centro del Océano Pacífico tropical, en condiciones El Niño o con su permanencia e intensificación en el caso de La Niña” (Montealegre, 2007).

Para ello, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) designada como máxima autoridad en las áreas de hidrología y meteorología, propone metodologías y protocolos con el propósito de conocer la situación actual y posibles escenarios futuros del agua en Colombia tanto a nivel nacional como regional, facilitando el seguimiento del recurso y mejorando la comprensión de las dinámicas del ciclo hidrológico y su balance hídrico a diferentes niveles dentro de las unidades hidrográficas de análisis. El IDEAM, periódicamente caracteriza aquellos factores climatológicos dominantes a nivel regional a través de información detallada proporcionada por su amplia red de monitoreo a lo largo del país y así poder analizar escenarios históricos extremos y recrear modelos climáticos para futuros eventos.

Para el presente proyecto, se consolidó una base de datos climatológicos dispuestos por diferentes entidades e instituciones con redes de monitoreo disponible, contemplando variables como la precipitación, temperatura media, humedad relativa y brillo solar total, la cual fue depurada al identificar inconsistencias, errores sistemáticos y datos faltantes. En dicho proceso se realizaron test estadísticos de identificación de outliers y análisis de homogeneidad.

Precipitación

La estimación de la precipitación es realizó a partir de la interpolación de los registros pluviométricos consolidados y analizados a través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

favoreciendo la interpretación visual y cartográfica de la variable climática bajo una conceptualización espacial de la distribución de las lluvias. Para ello, se implementó el método de Distancias Inversas Ponderadas (IDW) el cual estima valores de celda a partir de promedios ponderados de los valores de una muestra vecina, asumiendo que los valores más cercanos están más relacionados que otros en su función (Gráfico 19). La precipitación representa uno de los principales componentes que determinan la productividad de una región, tanto en sistemas forestales como agroforestales, además de planificar el sistema de producción a establecer y el tipo de prácticas agronómicas a desarrollar, épocas de fertilización, manejo de arvenses y controles fitosanitarios.

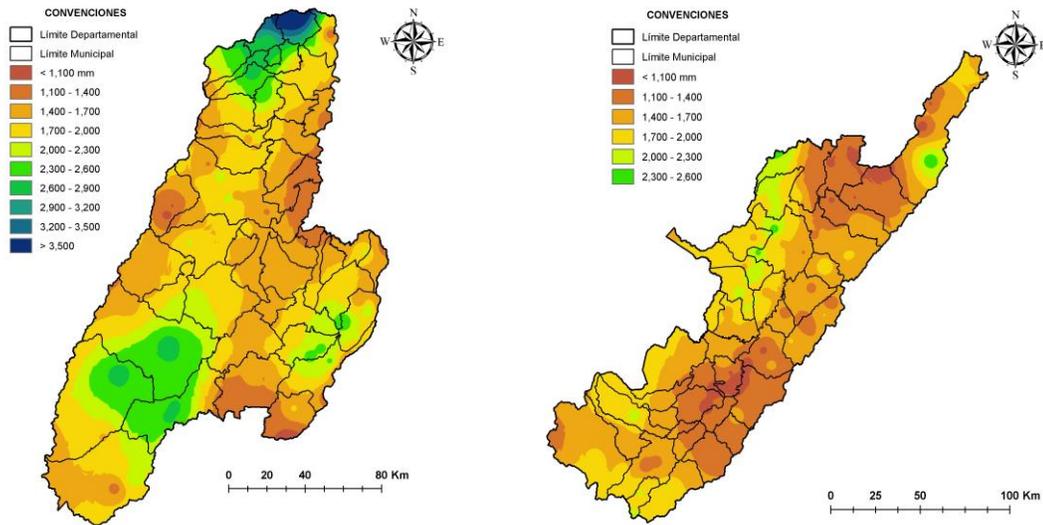


Gráfico 19. Distribución espacial de la precipitación para los Departamentos del Tolima y Huila

Para el departamento del Tolima, las zonas más húmedas se presentan al norte de la región en los municipios de Mariquita, Fresno, Palocabildo y parte de Casabianca, y al sur, donde convergen los municipios de Rioblanco, Chaparral y Ataco con precipitaciones que rondan los 2,300 y 3,500 mm/año. Gran parte del departamento presenta condiciones moderadas de lluvias con precipitaciones que rondan los 1,400 a los 2,000 mm/año, destacando zonas de baja montaña con descenso en el régimen pluviométrico de 1,100 a 1,400 mm/año sobre los municipios de Piedras, Coello y Flandes sobre el flanco oriental del departamento, el municipio de Cajamarca al occidente, y los municipios de Natagaima y Alpujarra al sur oriente. Este último municipio igualmente presenta zonas áridas con precipitaciones menores a los 1,100 mm/año.

Sobre el departamento del Huila, los valores de precipitación disminuyen con respecto al departamento del Tolima, disponiendo así de zonas lluviosas al occidente de los municipios de Aipe, Neiva y Palermo; al oriente de Teruel e Íquira; y al sur del municipio de Colombia sobre el margen del río Magdalena con precipitaciones promedio entre los 2,000 y 2,600 mm/año. Los



bajos volúmenes pluviométricos correspondiente a zonas áridas con precipitaciones inferiores a los 1,100 mm/año, los encontramos en las zonas de baja altitud del departamento principalmente distribuidos en dos focos; el primero ubicado al norte cubriendo los municipios de Villavieja, Baraya y parte de Tello, Aipe y Neiva; y el segundo al suroriente sobre los municipios de Gigante, Agrado, Pital, Tarqui y Garzón.

En términos generales, las lluvias para los departamentos del Tolima y Huila se disponen bajo un régimen bimodal característico de la región Andina, debido a la influencia directa de vientos alisios provenientes del noreste y del sureste dando origen a la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), con dos marcados periodos húmedos intercalados por un periodo seco a lo largo del año (Gráfico 20). La presencia de estos periodos húmedos y secos genera dos cosechas de gran producción y otras dos de baja producción durante el año, siendo constante su producción, aunque en proporciones variadas beneficiando el flujo de caja de los agricultores pero dificultando su control fitosanitario (Sáenz & Cabezas, 2007).

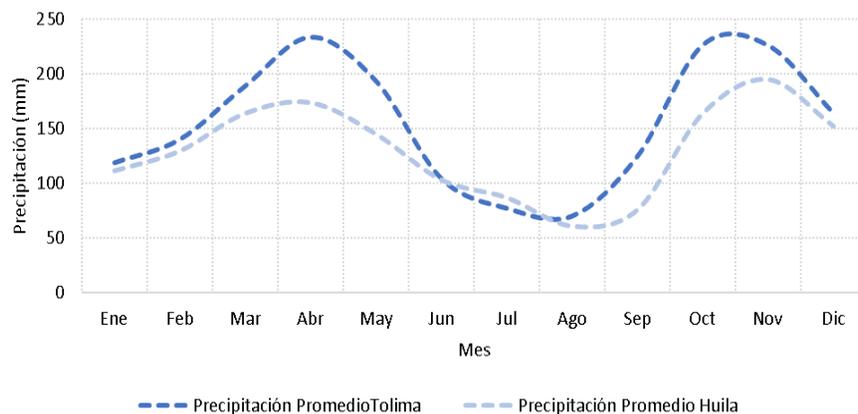


Gráfico 20. Precipitación promedio mensual multianual para los departamentos de Tolima y Huila.

La época de mayor humedad para el departamento del Tolima corresponde a los meses de Abril (233.31 mm) y Octubre (226.13 mm), y la seca a los meses de Enero (118.73 mm) y Agosto (70.04 mm). Para el departamento del Huila, la época de mayor humedad se produce en los meses de Abril (173.43 mm) y Noviembre (194.71 mm), y la seca en los meses de Enero (111.17 mm) y Agosto (60.51 mm).

Temperatura

Para estimar la distribución térmica a partir de datos promedios mensuales multianuales de temperatura media se desarrolló la metodología propuesta en (Fries et. al., 2009) considerando gradientes verticales de temperatura sobre los departamentos del Tolima y Huila. Estos gradientes fueron calculados con base en la relación lineal temperatura – altitud, integrando los

valores de elevación tomados del Modelo de Elevación Digital (DEM) proporcionado por los repositorios de la NASA, en su programa Alaska Satellite Facility (ASF) del instrumento ALOS PALSAR como uno de los tres mecanismos en el satélite de observación avanzada de la tierra-1 (ALOS). Estos modelos son corregidos radiométricamente a partir del proyecto RTC (radiometrically terrain-corrected) brindando información de alta resolución. Para el presente proyecto se consideraron DEM con resolución espacial de 12.5 m. Se genera la respectiva estimación termométrica para los departamentos partiendo de los respectivos análisis de regresión (Gráfico 21).

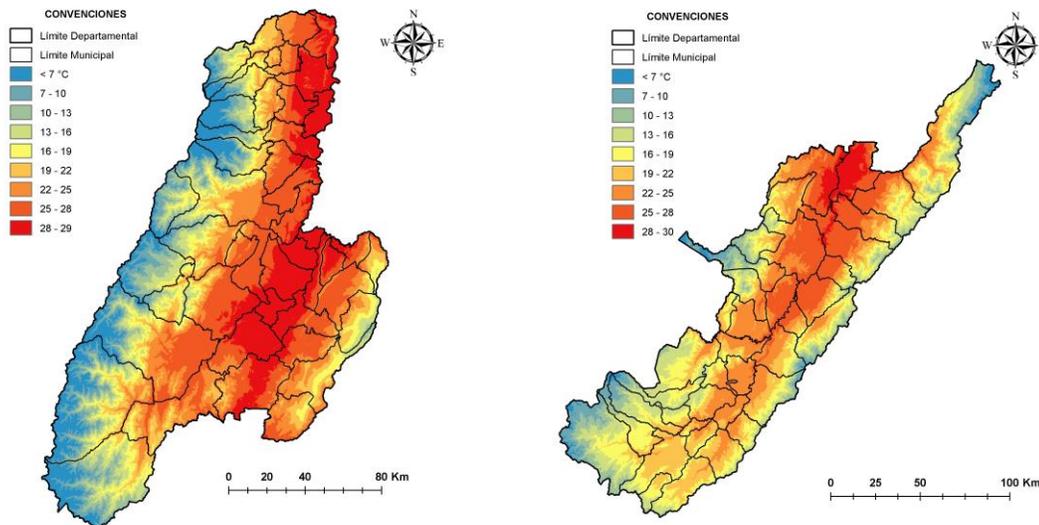


Gráfico 21. Distribución espacial de la temperatura media para los Departamentos del Tolima y Huila

Dada la diversificación altitudinal sobre los departamentos del Tolima y Huila podremos encontrar gran variabilidad de climas generados principalmente por las fluctuaciones térmicas, permitiendo contemplar diversidad de ecosistemas y el establecimiento de sistemas agrícolas, forestales y agroforestales sobre la región. Las bajas temperaturas ($< 7^{\circ}\text{C}$) se disponen sobre la vertiente oriental de la cordillera central y la vertiente occidental de la cordillera oriental, producto de las imponentes cadenas montañosas que representa el relieve andino para estas regiones consolidándose así las zonas de páramo y nevados sobre su margen izquierdo.

En las inmediaciones de estas cordilleras encontramos valles y planicies aluviales con altitudes entre los 183 y los 1,200 m.s.n.m., principalmente marcados por el paso del río Magdalena donde las temperaturas oscilan entre los 19 y los 30°C . Para el caso del departamento del Tolima esta planicie aluvial se extiende en mayor proporción en contraste con el departamento del Huila, por lo que se dispone de zonas más áridas con temperaturas superiores a los 30°C , dando una perspectiva inicial de posibles escenarios extremos en zonas de alta montaña (heladas) y de planicie (sequía).



Retomando los requerimientos edafoclimáticos expuestos en García et al (2007) y Pérez et al. (2016), las temperaturas óptimas para el desarrollo y la producción de cacao rondan los [24 – 28°C], temperaturas entre los [28 – 30°C y 20 – 24°C] son consideradas temperaturas moderadamente aptas y entre los [30 – 32°C y 18 – 20°C] como marginalmente aptas o aptas con restricciones. Temperaturas superiores a los 32°C o inferiores a los 18°C son consideradas no aptas dado que la planta aumenta el riesgo de presentar problemas fisiológicos y sanitarios afectando su desarrollo. Estudios como Müller & Valle (2007) aluden a rangos óptimos de temperatura media mensual entre los 18 a 28°C e igualmente se hace mención a un límite inferior de temperatura mínima promedio mensual de 15°C o temperaturas mínimas absolutas de 10°C.

La influencia de la temperatura en la tasa de crecimiento vegetativo, el desarrollo de frutos y la floración de las plantas de cacao actualmente está ampliamente referenciada en estudios como Duke (1983) y Sáenz & Cabezas (2007) donde la diferenciación floral disminuye a temperaturas promedio mensuales menores a 20°C y las floraciones constantes de la planta se generan a temperaturas medias superiores a 26°C. Estos estudios además se ven fuertemente respaldados por ensayos fenológicos realizados en Alvim (1987), mostrando una correlación entre la parada de crecimiento de intercambio acompañado con una baja intensidad de floración en relación con los periodos de menor temperatura.

De igual manera, en regiones con altas diferencias estacionales la temperatura juega un papel fundamental en el desarrollo de la fruta, dado que en meses con alto régimen térmico los periodos de maduración son más cortos entre 140 a 175 días, en contraste con meses más fríos con un periodo de maduración entre los 170 a 205 días, llegándose así a establecer formulas empíricas para el cálculo de días entre la fertilización floral y la cosecha de frutos en función de la temperatura diaria promedio posterior a la polinización (Alvim , 1977). Aun cuando la temperatura es un factor regulador del crecimiento y los cambios fenológicos del cacao, no es la más determinante a la hora de definir las cosechas.

Humedad Relativa

La humedad relativa es desarrollada según la metodología dispuesta por Allen et al (1998) el cual expone una relación directa de la variable con la tensión de saturación de vapor (e_0) y la tensión de vapor actual (e_a), esta última condicionada por la temperatura a punto de rocío (T_r) que corresponde a la temperatura mínima para este estudio. Para ello, se dispuso de los registros históricos de temperatura máxima y mínima proporcionados por el IDEAM para un periodo de análisis entre 1,996 al 2,016 a una resolución temática espacial de 12.5 metros.

Sobre el departamento del Tolima, los índices de humedad en el aire son relativamente altos con valores que oscilan entre el 75 al 80%. Las zonas más húmedas las encontramos al centro – occidente y sur – occidente del departamento en zonas a la alta montaña específicamente sobre los municipios de Roncesvalles, Chaparral, Rioblanco y Planadas con niveles superiores al 80%.

Seguidamente las zonas de piedemonte presentan niveles de humedad entre el 77 y 79% concentrándose al centro del departamento en regiones cálidas y de moderadas precipitaciones para los municipios de Ortega, San Luis, Guamo, Saldaña y Coyaima. Al norte se estiman los índices más bajos de humedad en municipios como san Sebastián de Mariquita, Fresno, Falan, Palocabildo y Honda con valores inferiores al 75% hasta un mínimo estimado del 74%.

Para el caso del departamento del Huila, se dispone de un régimen de humedad del aire similar al departamento del Tolima con índices que rondan el 75 al 80%. Po su parte, las zonas de mayor humedad se disponen igualmente al centro – occidente y sur – occidente del departamento sobre los municipios de Teruel, Íquira, Nátaga, Saladoblanco, Isnos y San Agustín con niveles superiores al 80%. Al sur del departamento encontramos niveles de humedad un poco más bajos del orden del 77 al 79% en municipios como La Argentina, Oporapa, Pitalito, Acevedo, Suaza, Timaná, Altamira y Guadalupe. Los valores más bajos de humedad los encontramos en límites fronterizos de los municipios de Villavieja, Aipe y Tello, y un segundo foco sobre los municipios de Agrado y Garzón con niveles entre el 75 y 76% de humedad (Gráfico 22).

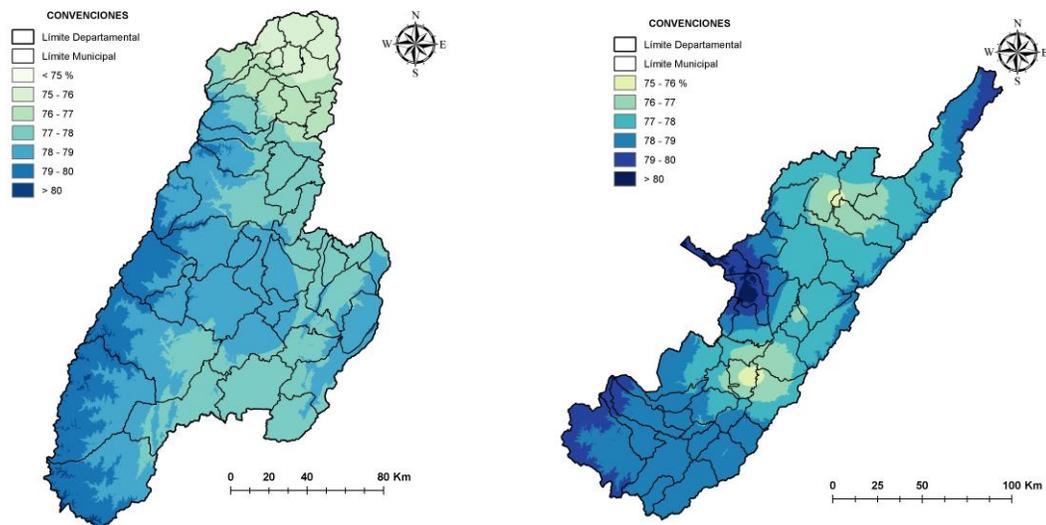


Gráfico 22. Distribución espacial de humedad relativa media sobre los Departamentos del Tolima y Huila.

Brillo Solar

La metodología desarrollada en Abd El-Wahed & Snyder (2015), expone la relación directa de horas luz con respecto a la temperatura media de determinada zona. Al igual que en la metodología de estimación de temperaturas se generan gradientes verticales los cuales delimitan un comportamiento lineal entre estas dos variables. Por lo tanto, se desarrolló una ecuación de cálculo de valores promedio de horas luz diaria (n) para cada mes.

Debido al bajo número de estaciones que proporcionan datos de horas luz sobre los departamentos del Tolima y Huila, el ajuste de los modelos no es lo significativamente alto, aun así, el coeficiente de determinación (R^2) para cada uno de los meses superan el 70%. Partiendo de lo anterior, se representan gráficamente el promedio de horas luz efectiva al año para las dos regiones. Si bien, la relación de la temperatura con el número de horas luz efectiva en determinada zona es directamente proporcional, es de esperarse que “a mayor temperatura, mayor tiempo de radiación incidente”.

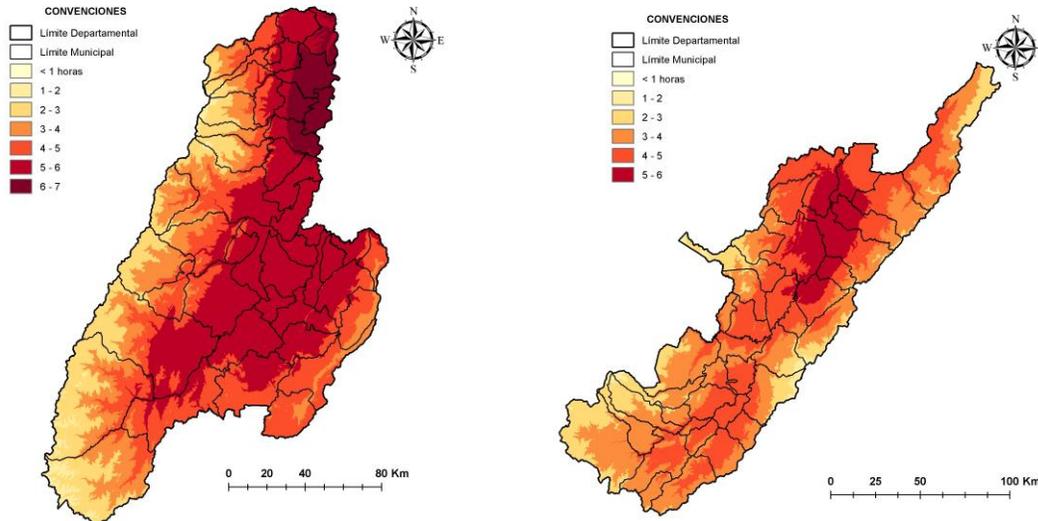


Gráfico 23. Distribución espacial de horas luz efectivas sobre los Departamentos del Tolima y Huila.

Para el departamento del Tolima las horas luz efectivas varían en un rango de 1 a 7 horas/día, principalmente con mayor disponibilidad de radiación en las zonas de baja altitud donde las temperaturas son altas siguiendo la planicie aluvial generada por el paso del Río Magdalena. En promedio la disponibilidad lumínica para el departamento ronda de los 5 a 6 horas luz efectivas día con excepciones sobre los municipios de Armero, Lérida, Ambalema y Venadillo donde se dispone de una mayor exposición entre 6 a 7 horas/día en promedio debido a la baja altitud y el aumento de la temperatura. Sobre el flanco occidental de la cordillera central se presentan los valores más bajo de luminosidad con valores inferiores a 3 horas/día en consecuencia con la presencia de relieve de alta montaña donde la presencia de nubosidad es un factor constante para aquellas regiones (Gráfico 23).

Por otro lado, el departamento del Huila dispone luminosidad de hasta 6 horas/día en municipios como Aipe, Villavieja, Tello, Neiva, Palermo, Rivera y Campoalegre, principalmente en zonas de baja altitud con temperaturas entre los 28 y los 30°C. De igual manera, los bajos niveles de luminosidad se presentan en condiciones de alta montaña. En términos generales, para el



departamento del Huila estos valores de horas luz efectivas varían en torno a las 3 o 4 h/día por lo que en contraste con el departamento del Tolima la exposición a la radiación solar será en menor proporción, favoreciendo al cultivo de cacao ya que este es típicamente considerado como umbrófilo con necesidades de sobrio.

Evapotranspiración de Referencia (ET_o)

La Evapotranspiración de Referencia (ET_o), es una variable generada para estimar las pérdidas de agua en el suelo a causa de factores como la Temperatura y Brillo Solar que al relacionarla con la precipitación obtenemos lo que se denomina el Balance Hídrico Atmosférico. Se generó una nueva representación espacial de la variable a una resolución de 12.5 m. aproximadamente generando una mejor delimitación de los contornos y un detalle más focalizado de las pérdidas de agua en el suelo para los departamentos del Tolima y Huila. Al igual que en la estimación inicial se implementó el método FAO-Penman Monteith descrito en Allen et al. (1998) para calcular la Evapotranspiración de Referencia (ET_o) en mm día⁻¹. Extrapolando la variable en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) obtenemos una representación espacial de la distribución en términos de capacidad evaporativa media para los departamentos a escala anual.

La Evapotranspiración de Referencia está directamente relacionada con la Temperatura y la Brillo Solar, a su vez, estos se encuentran en asociados con la altitud por lo que se observa una mayor capacidad evaporativa en la parte baja de los departamentos y en menor capacidad las zonas de alta montaña. Los niveles evaporativos para el departamento del Tolima oscilan entre los 392 a los 1,410 mm/año, muy similar al departamento del Huila entre 390 a 1,375 mm/año. Para el primer caso, las mayores pérdidas por evapotranspiración se observan al norte del departamento sobre los municipios de Armero, Lérída, Ambalema y Venadillo con rangos promedios en los 1,200 a los 1,410 mm/año, caso contrario para la zona occidental y parte de la zona oriental del departamento en presencia de altas montañas con rangos entre los 350 a los 900 mm/año. Para el caso del departamento del Huila, los mayores volúmenes evaporativos se presentan sobre gran parte del norte de departamento específicamente en las planicies aluviales formadas por el Río Magdalena sobre los municipios de Villavieja, Aipe, Tello, Neiva, Palermo, Rivera, Campoalegre y Yaguará con valores entre los 1,200 a los 1,350 mm/año en promedio. El grado de pérdida hídrica por efectos de evapotranspiración para el departamento fluctúa entre los 750 a los 1,200 mm/año con algunas salvedades en zonas montañosas (Gráfico 24).

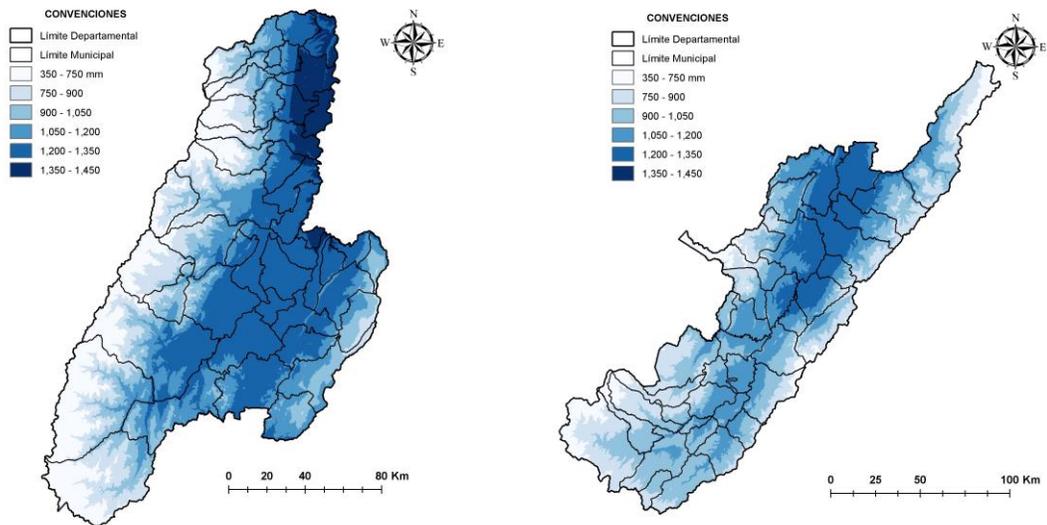


Gráfico 24. Distribución espacial de evapotranspiración de referencia sobre los Departamentos del Tolima y Huila.

Al analizar los periodos evaporativos a lo largo del año se encontraron variaciones entre los 81.08 hasta los 96.15 mm/mes viendo su punto más bajo en Noviembre y el más alto en Agosto respectivamente para el departamento del Tolima. Por otro lado, el departamento del Huila presenta bajas evaporaciones en Junio con 76.3 mm/mes y altas en Enero con 89.3 mm/mes. En términos generales, las curvas de evapotranspiración a nivel de referencia durante el año para los dos departamentos muestran fluctuaciones similares con dos bajos y dos altos característico de un régimen bimodal. El periodo seco de mayor representatividad para las dos regiones corresponde a Mayo – Junio – Julio y el periodo húmedo o con menores niveles evaporativos de agua a la atmosfera corresponde a los meses de Agosto – Septiembre – Octubre. En estos grandes volúmenes evaporativos que se generan en los periodos más secos para los departamentos se espera déficit hídrico y posibles problemas de sequias en aquellas zonas de mayor impacto.

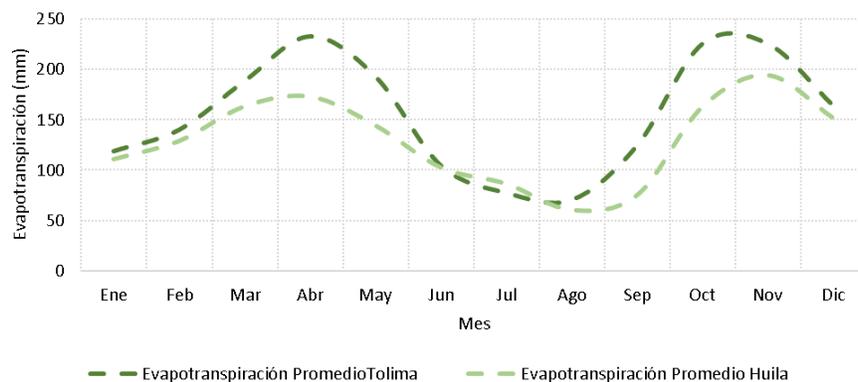


Gráfico 25. Evapotranspiración promedio mensual multianual para los departamentos de Tolima y Huila.

Balance Hídrico Atmosférico (BHA)

El Balance Hídrico Ambiental (BHA) se define como la diferencia entre la precipitación – entrada natural de agua – y la Evapotranspiración Potencial (Poure y Fries, 1987). Posteriormente en el método FAO, las salidas de agua del balance se plantearon a partir de la Evapotranspiración de Referencia ETo (agua que se pierde por transpiración y evaporación directa desde el suelo en un cultivo de referencia) (Allen et al., 1998). Con la implementación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se construyen escenarios de comportamiento, disponibilidad y distribución del recurso hídrico sobre los departamentos del Tolima y Huila. A través de este parámetro conocemos la relación atmosférica existente entre la cantidad de agua ingresada por efectos de la lluvia y la cantidad evaporada por efectos climáticos ambientales tales como la temperatura, el brillo solar y el viento (Gráfico 26).

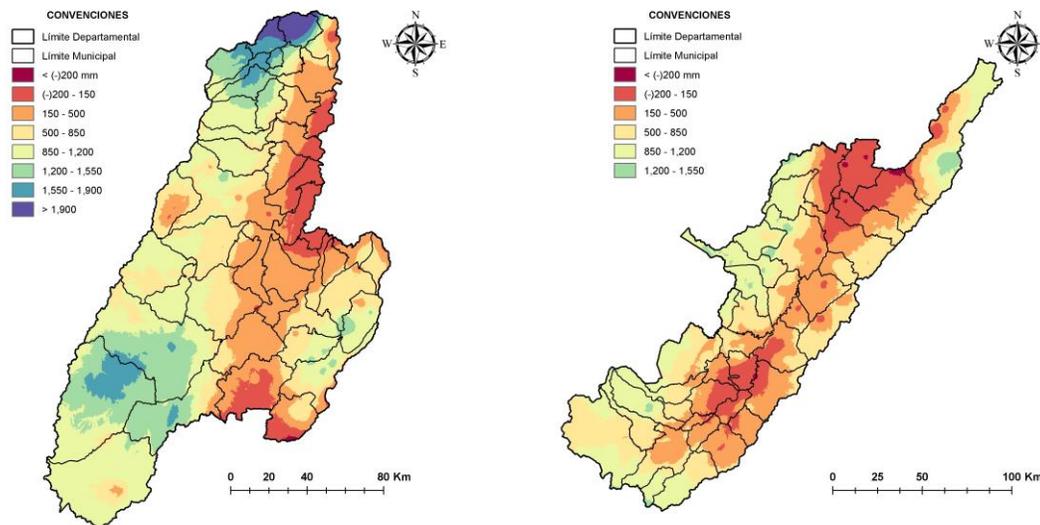


Gráfico 26. Distribución espacial de balance hídrico atmosférico sobre los Departamentos del Tolima y Huila.

Para el departamento del Tolima, observamos zonas con déficit hídrico muy marcado donde en promedio el agua lluvia precipitada es inferior al agua evaporada a la atmosfera por efectos del calentamiento de la superficie terrestre, provocando condiciones de aridez dificultando la disponibilidad del recurso para las plantas. Estas zonas se encuentran ubicada a lo largo del valle aluvial del Río Magdalena, con valores entre los -350 a los 150 mm/año, destacándose así los municipios de Ambalema, Venadillo, Piedras, Coello, Flandes y Espinal como los de mayor aridez en el año. Por otro lado, las zonas con mayor disponibilidad hídrica las encontramos al norte de departamento sobre los municipio de San Sebastián de Mariquita y Fresno con valores promedio entre los 1,550 a 3,229 mm/año, al igual que al sur, para el municipio de Rioblanco con valores promedio de 1,550 a 1,900 mm/año.



Igualmente, para el departamento del Huila los déficit se concentran siguiendo el valle del Río Magdalena principalmente al norte y centro con valores entre los -355 a los 150 mm/año siendo más fuerte sobre los municipios de Villavieja, Baraya, Tello y Neiva al norte; y Gigante, Garzón, Agrado, Pital, Tarqui y Altamira al centro. Para las áreas restantes del departamento en promedio los balances hídricos rondan 500 a 1,200 mm/año, con excepciones marcadas en zonas paralelas al para del Río Magdalena y algunos sectores al sur oriente con valores entre 150 a 500 mm/año.

Un análisis del comportamiento de las lluvias con respecto a la capacidad evaporativa del suelo y las plantas hacia la atmosfera a escala mensual evidencia que en periodos secos los departamentos del Tolima y Huila sufren efectos considerables de aridez, desfavoreciendo la disponibilidad hídrica en la superficie terrestre para las plantas. Estas pérdidas se presentan principalmente para los meses de Julio, Agosto y Septiembre con valores mínimos de hasta -26.11 mm/año para el departamento del Tolima y de -24.90 mm/año para el departamento del Huila. Caso contrario, se dispone para los meses de Abril y Octubre donde el régimen pluviométrico es mucho mayor que las pérdidas posibles con valores máximos de hasta 144.66 mm/año (Tolima) y 114.91 mm/año (Huila) (Gráfico 27).

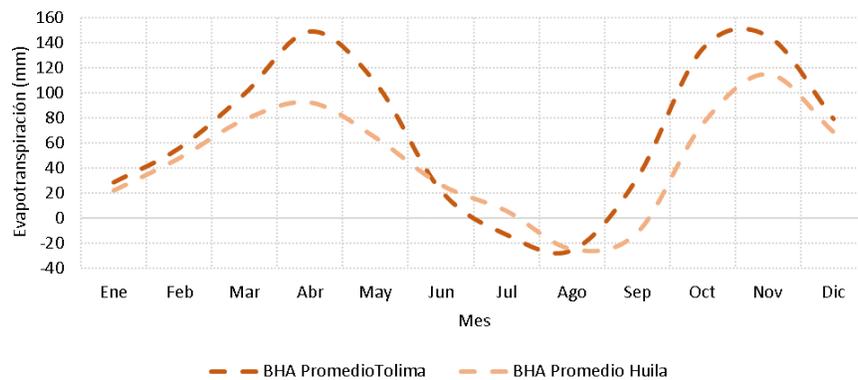


Gráfico 27. Balance Hídrico Atmosférico promedio mensual multianual para los departamentos de Tolima y Huila.

Análisis del Comportamiento Climatológico de las Áreas Cultivadas en Perú

Los principales parámetros meteorológicos que definen o caracterizan el clima en el ámbito de estudio son: la precipitación, la temperatura, la humedad relativa, la evaporación, la nubosidad y el viento; siendo estas las de mayor importancia en cuanto a la tipificación o caracterización meteorológica.

La información climatológica se generó a partir de dos bases de datos, una fue consultada en WorldClim (Datos Climáticos Globales) proporcionada por Feed the Future al Consorcio de Sistemas Geoespaciales y Agrícolas del Laboratorio de Innovación de Intensificación Sostenible; y otra proporcionada por SENAMHI, para ello, se recopiló información observada y/o medida de

estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio para una mejor representación. Cabe indicar, que existe una baja densidad de estaciones en las zonas en estudio (grafica 28), la cual, ha sido necesario utilizar los datos espaciales de WorldClim a una resolución espacial aproximada de 1 km².

Precipitación

La precipitación representa uno de los principales componentes que determinan la productividad de Cacao, asimismo en sistemas forestales como agroforestales, además de planificar el sistema de producción a establecer y el tipo de prácticas agronómicas a desarrollar, épocas de fertilización, manejo de arvenses y controles fitosanitarios (Cenicafé, 2011). Además, se le considera a la precipitación como la primera variable meteorológica en el ciclo hidrológico y es la entrada natural de agua dentro del balance hídrico. Para determinar espacialmente la precipitación total anual en las zonas en estudio se ha utilizado los datos espaciales del WorldClim y las estaciones meteorológicas de Quillabamba y Bellavista.

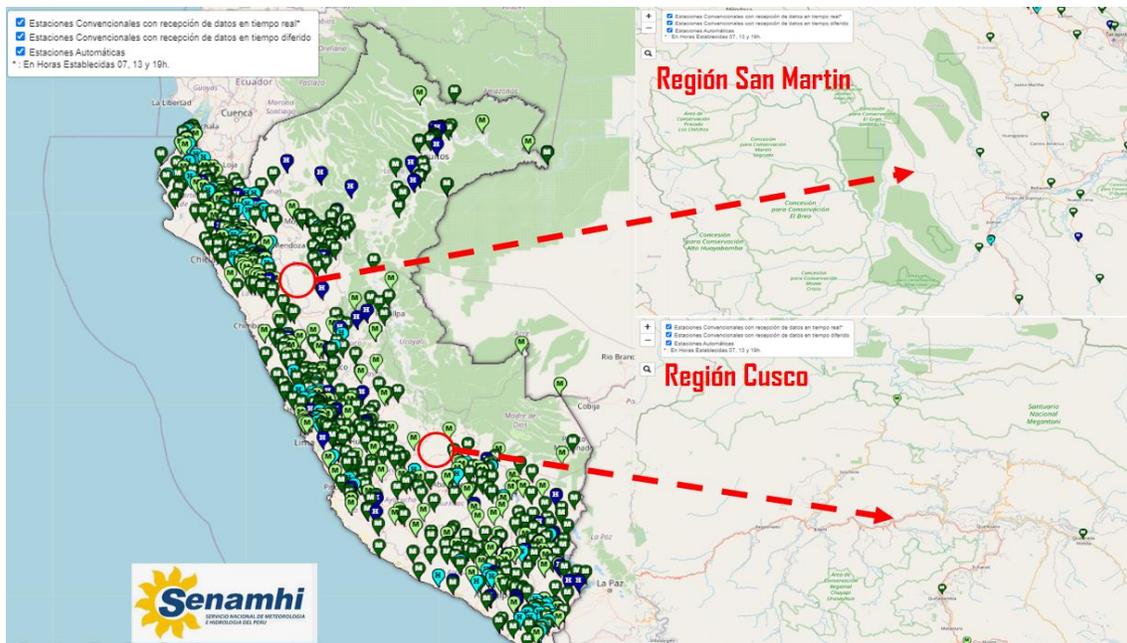


Gráfico 28. Densidad de estaciones meteorológicas a) zona norte región de San Martín y la zona sur región de Cusco

En cuanto, a su distribución espacial de las lluvias en las regiones de Cusco y San Martín, se tienen lluvias que superan valores anuales de los 800 mm/año hasta los 2600 mm/año, considerándose según su clasificación como zonas muy lluviosas, es decir estas zonas presenta precipitaciones altas propias de una zona de selva. Y para las zonas en estudio se tiene una precipitación media anual con valores que oscilan desde los 800 mm/año hasta los 1620 mm/año, tal como se muestra en el gráfico 29.

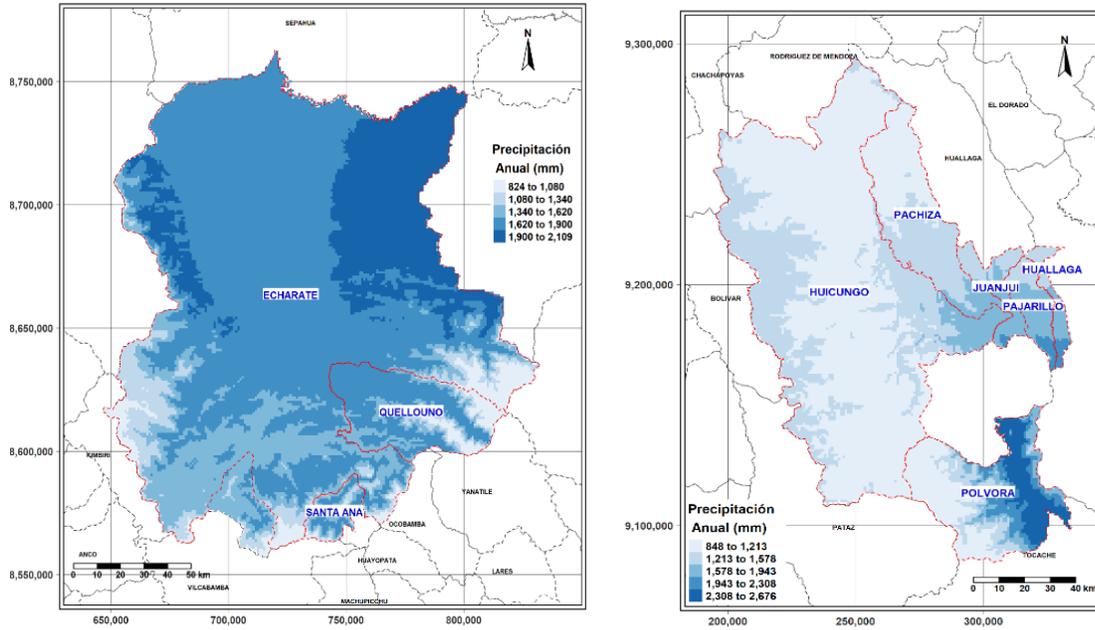


Gráfico 29. Mapa de Precipitación Total Anual (mm/año) a) Margen Derecha los distritos de San Martín y Margen izquierda los distritos de Cusco

Para corroborar estos resultados de la precipitación total anual, se cuenta con registros a nivel mensual en ambas regiones, considerándose los registros históricos de las estaciones de Quillabamba y Bellavista, por ser las más cercanas y aledañas al proyecto, según los resultados se tiene una variación anual que varía desde los 887.78 mm/año y 1163.29 mm/año, tal como se muestra en el gráfico 30.

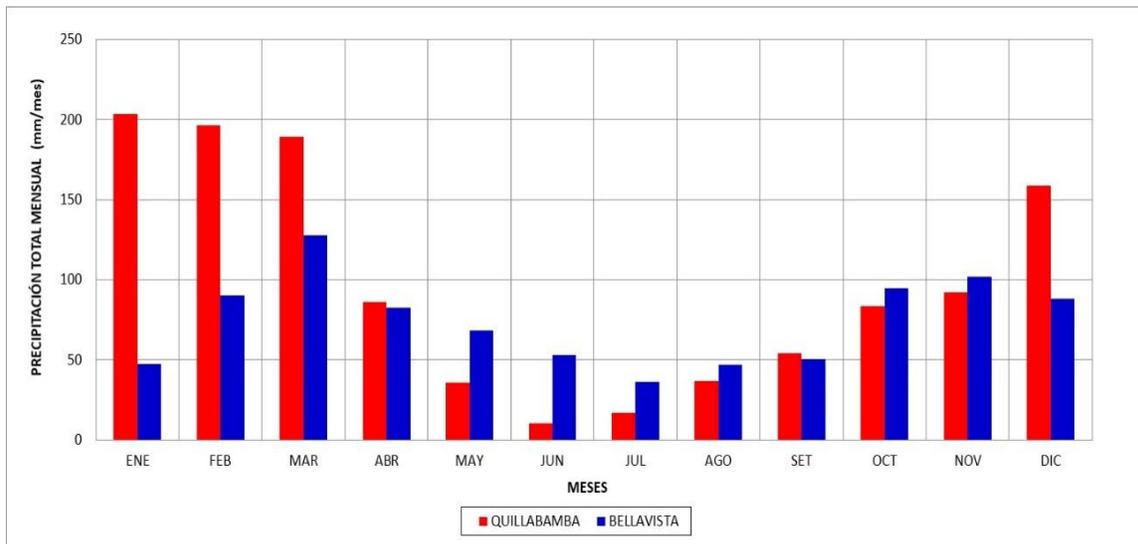


Gráfico 30. Variación mensual de la Precipitación Total Anual (mm)

En cuanto a su variación a nivel mensual, se presenta precipitaciones altas en los meses de octubre a abril y menores precipitaciones en los meses de mayo a setiembre. Asimismo, se observa las lluvias son más intensas en la región de Cusco ubicada en la zona sur del Perú. Cabe indicar que las precipitaciones a nivel mensual pueden llegar como máximo hasta los 203.40 mm/mes y menores de 10.40 mm/mes.

Temperatura

Al igual que la precipitación pluvial y tal vez con mayor nitidez, la temperatura es el elemento meteorológico, cuya variación espacial está ligada al factor altitudinal. La temperatura es una variable climática de gran importancia dentro del ciclo hidrológico debido a que esta se encuentra ligada con la evapotranspiración. Para la zonificación espacial de la temperatura media, máxima y mínima en los distritos en estudio de las regiones de Cusco y San Martín, se estimaron con información rasterizada del producto WorldClim con una resolución espacial de 1 km² aprox.

Temperatura media

La temperatura media anual en ambas regiones presenta valores que varían desde los 5.28 °C hasta los 26.99 °C, notándose los valores más altos de temperatura media en zonas ubicadas a altitudes menores que oscilan entre los 183 a los 1600 m.s.n.m. y los valores más bajos en zonas ubicadas a altitudes mayores que oscilan entre los 3000 a los 4500 m.s.n.m. Según los resultados obtenidos de temperatura media anual en las zonas productoras de Cacao se tiene temperaturas medias anuales que varían desde los 18.50 °C hasta los 26.79 °C, tal como se muestra en el gráfico 31.

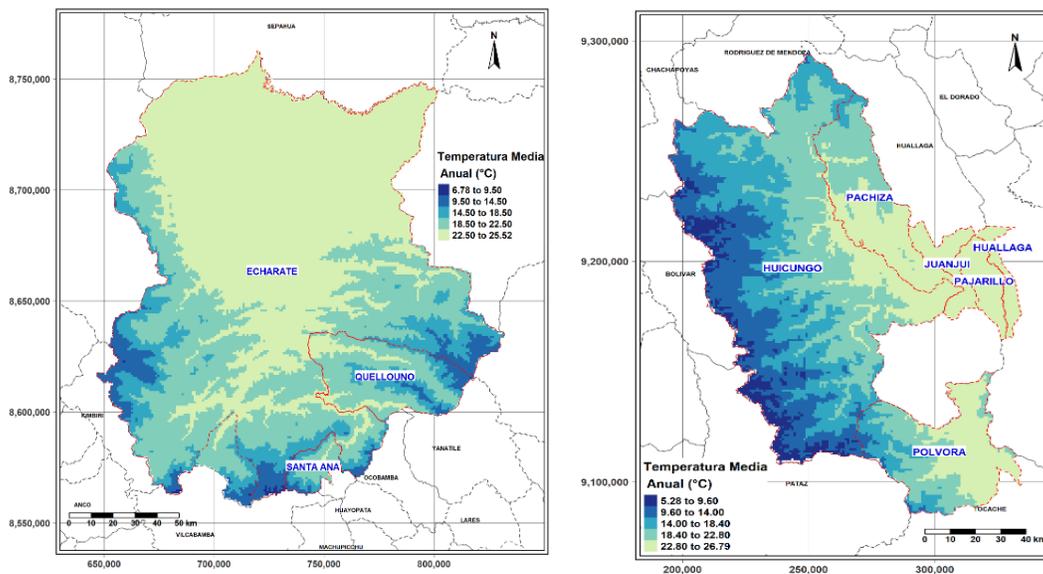


Gráfico 31. Mapa de Temperatura Media Anual °C a) Margen Derecha los distritos de San Martín y b) Margen izquierda los distritos de Cusco

Asimismo, para corroborar estos resultados de temperatura media anual en ambas regiones, se ha considerado los registros históricos de temperatura media mensual registrada en las estaciones de Quillabamba y Bellavista, por ser las más cercanas y aledañas al proyecto, según los resultados se tiene una variación anual que varía desde los 24.38 °C y 27.99 °C, con una variación a nivel mensual casi constante durante todo el año, tal como se muestra en el grafico 32

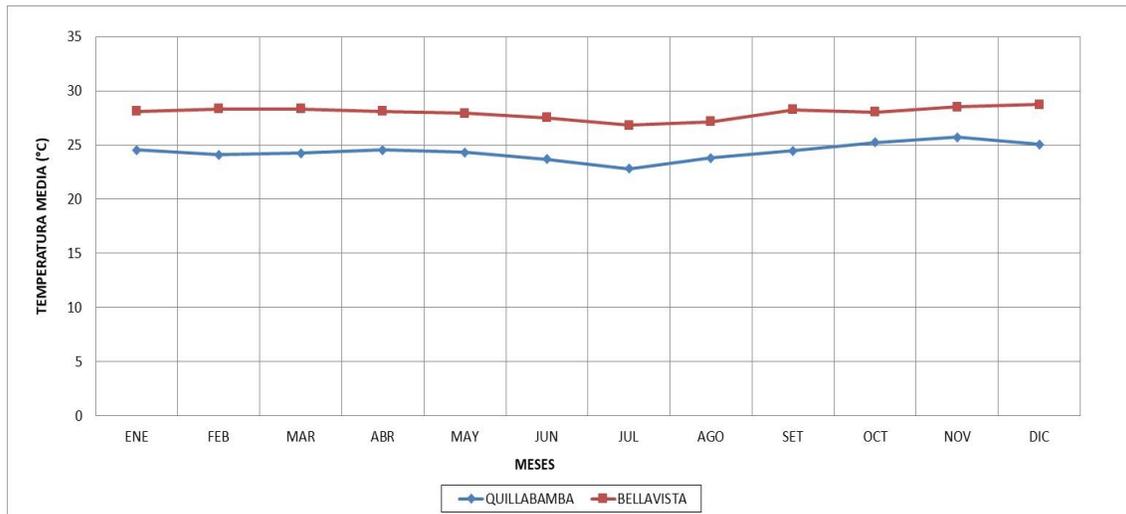


Gráfico 32. Variación mensual de la Temperatura media (°C)

Temperatura máxima

En cuanto a la temperatura máxima en ambas regiones, se observa valores que varían desde los 11.28 °C hasta los 32.85 °C, presentándose los valores más altos de temperatura máxima en las zonas ubicadas a altitudes que oscilan entre los 183 a los 1600 m.s.n.m. y los valores más bajos en zonas ubicadas a altitudes mayores que oscilan entre los 3000 a los 4500 m.s.n.m. De los resultados obtenidos de temperatura máxima anual, se tiene para las zonas productoras de Cacao, temperaturas máximas que varían desde los 21.50 °C hasta los 32.85 °C, como se muestra en el grafico 33.

Asimismo, para corroborar estos resultados de temperatura máxima anual en ambas regiones, se ha considerado los registros históricos de temperatura máxima mensual registrada en las estaciones de Quillabamba y Bellavista, según los resultados se tiene una variación de temperatura máxima anual que varía desde los 29.89 °C y 33.45 °C, tal como se muestra en el grafico 34. A nivel mensual, podemos observar la temperatura máxima también presenta una variación casi constante durante todo el año.

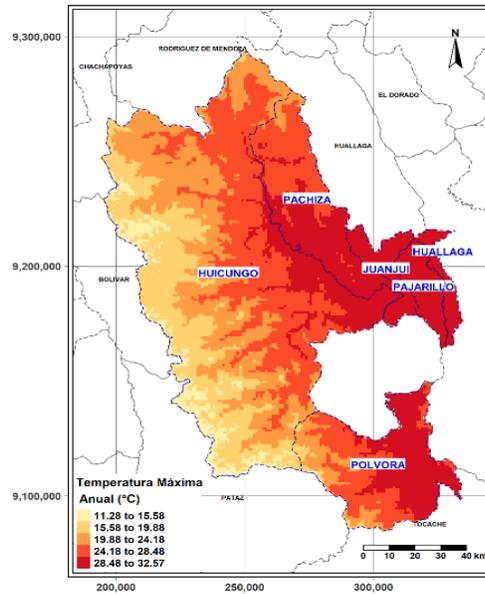
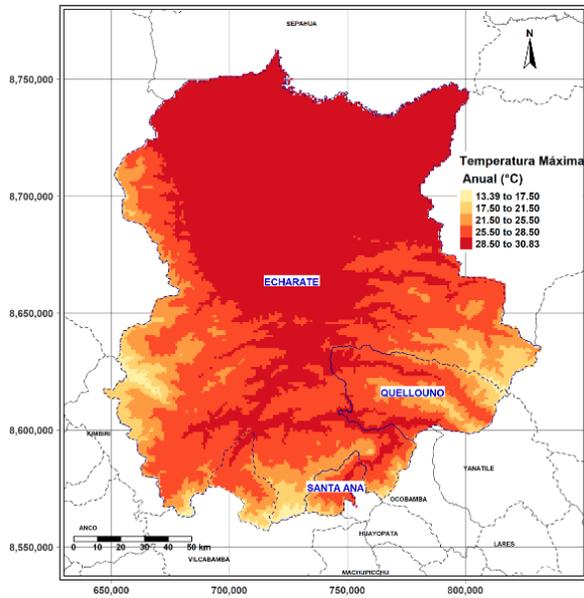


Gráfico 33 Mapa de Temperatura Máxima Anual en °C a) Margen Derecha los distritos de San Martín y b) Margen izquierda los distritos de Cusco

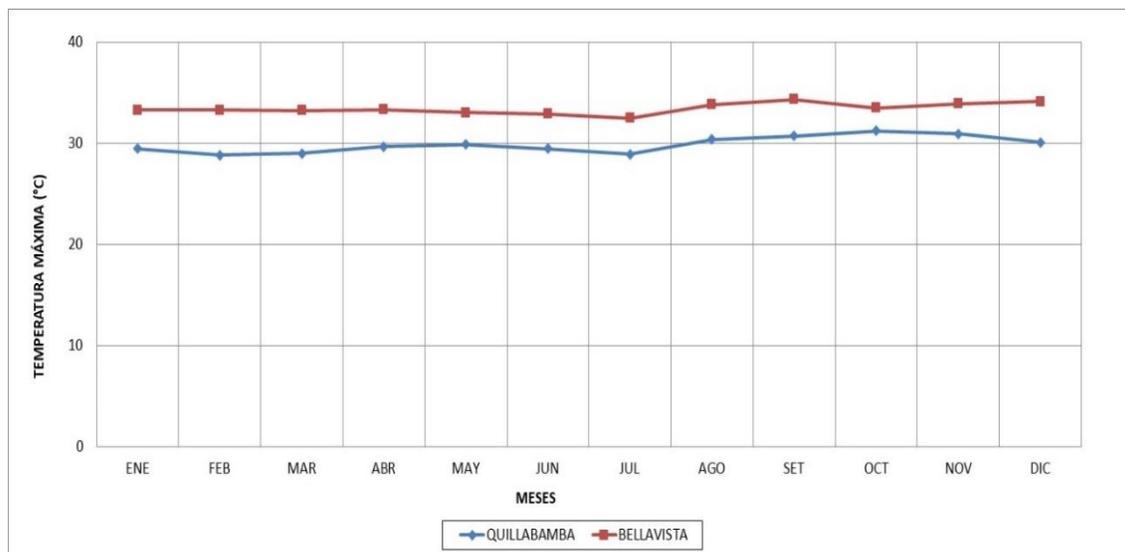


Gráfico 34 Variación mensual de la Temperatura Máxima (°C)

Temperatura mínima

En cuanto a la temperatura mínima se observa en ambas regiones, valores que varían desde los 0° C hasta los 21.07 °C, presentándose los valores más altos de temperatura mínima en las zonas ubicadas a altitudes que oscilan entre los 183 a los 1600 m.s.n.m. y los valores más bajos en zonas ubicadas a altitudes mayores que oscilan entre los 3000 a los 4500 m.s.n.m. Según los resultados obtenidos de temperatura mínima anual, se tiene se tiene para las zonas productoras de Cacao

temperaturas mínimas que oscilan desde los 14.50 °C hasta los 21.54 °C, tal como se muestra en grafico 35.

Asimismo, para corroborar estos resultados de temperatura mínima anual en ambas regiones se ha considerado los registros históricos de temperatura mínima mensual registrada en las estaciones de Quillabamba y Bellavista, según los resultados se tiene una variación anual que varía desde los 18.83 °C y 22.53 °C, además se puede observar a nivel mensual que las temperaturas mínimas más bajas se dan en los meses de mayo a setiembre y las más altas en los meses de octubre a abril, tal como se muestra en el grafico 36.

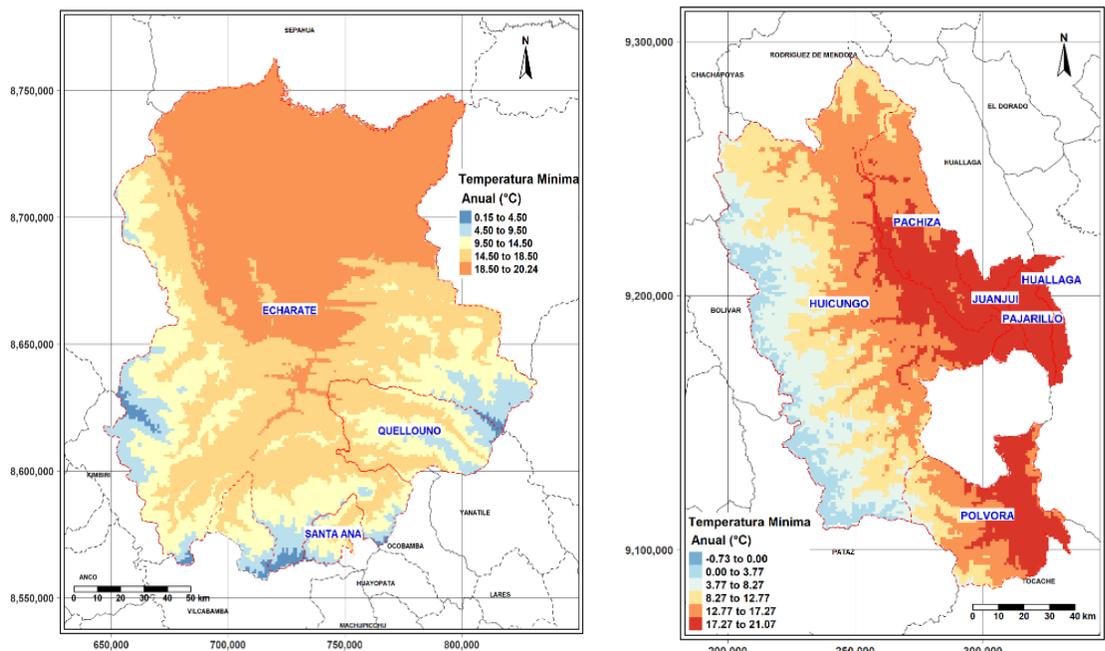


Gráfico 35 Mapa de Temperatura Mínima Anual en °C a) Margen Derecha los distritos de San Martín y b) Margen izquierda los distritos de Cusco

Presión de vapor de agua

Para determinar la humedad relativa en las zonas de estudio, se cuenta con información de presión de vapor de agua promedio, la cual ha sido descargada de la plataforma de WorldClim a una escala de 1 km². Cabe indicar que el parámetro de presión de vapor de agua presenta una estrecha relación con la humedad relativa, es decir a mayor presión de vapor de agua mayor será la humedad relativa, tal como se muestra agua en el grafico 37 especialmente la presión de vapor de agua en Kpa.

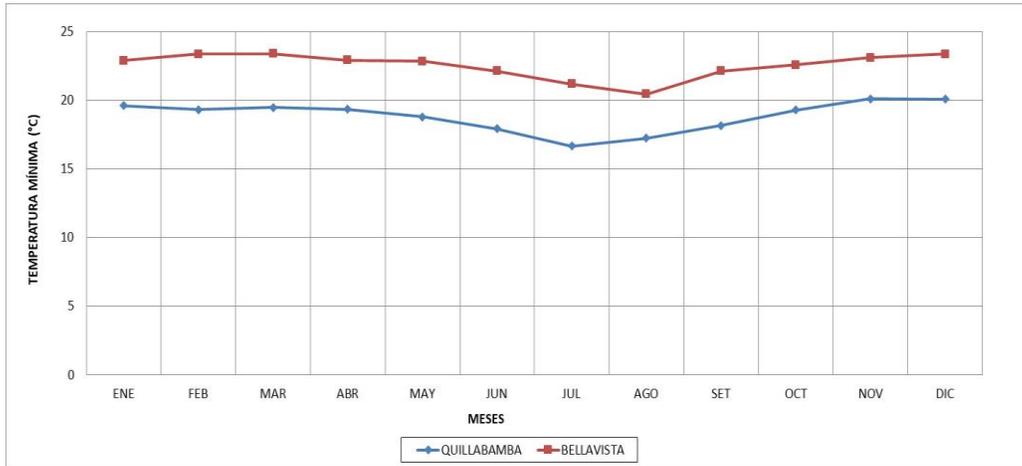


Gráfico 36. Variación mensual de la Temperatura Mínima (°C)

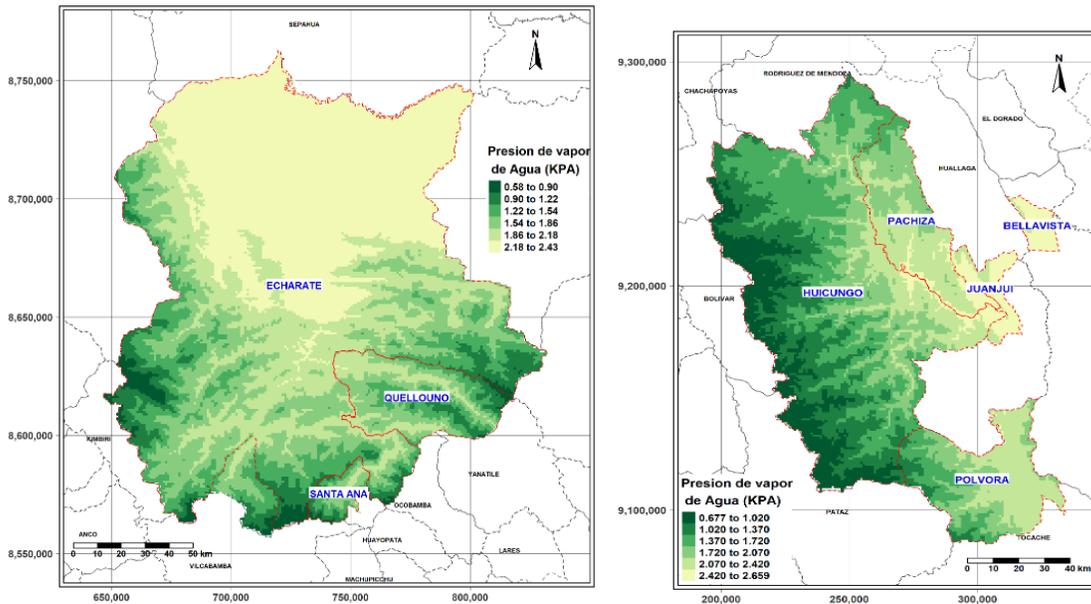


Gráfico 37 Mapa de Presión de vapor de agua en KPa, a) Margen Derecha los distritos de San Martín y b) Margen izquierda los distritos de Cusco

Para determinar la humedad relativa en las zonas productoras de Cacao, se tiene los registros históricos de las estaciones de Quillabamba y Bellavista, presentándose una humedad relativa media anual entre los 74.53 % a 83.27 %, tal como se muestra en el gráfico 38.

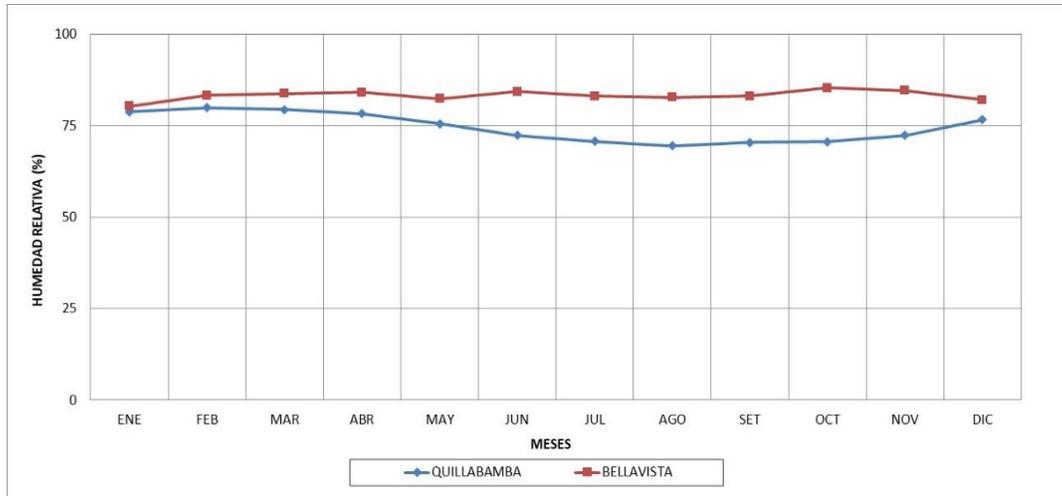


Gráfico 38 Variación mensual de la Humedad Relativa Media (%)

Velocidad de viento

El viento es el movimiento de aire en la superficie terrestre, este parámetro es generado por la acción de gradientes de presión atmosférica producida por el calentamiento diferencial de las superficies y masas de aire. Los vientos generalmente son infrecuentes, medido mediante el anemómetro y están expresados en km/h o m/s. Y según los resultados se observa velocidades de viento que varían desde los 1.017 m/s hasta 4.133 m/s. Por lo tanto, se tiene para las zonas en estudio velocidades de viento que oscila desde los 1.6 m/s hasta los 3.48 m/s, tal como se muestra en el grafico 39.

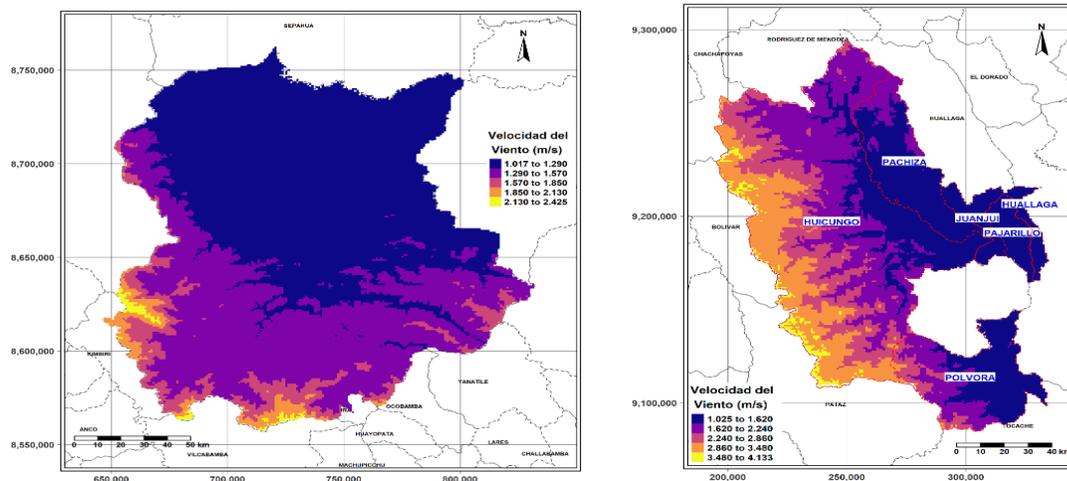


Gráfico 39 Mapa de velocidad de viento en m/s a) Margen Derecha los distritos de San Martin y b) Margen izquierda los distritos de Cusco

Para corroborar los resultados obtenidos de esta variable, se cuenta con información promedio de las estaciones de Quillabamba y Bellavista, notándose una variación de la velocidad de viento promedio anual entre estaciones de 3.29 m/s y 5.22 m/s, tal como se muestra en gráfico 40.

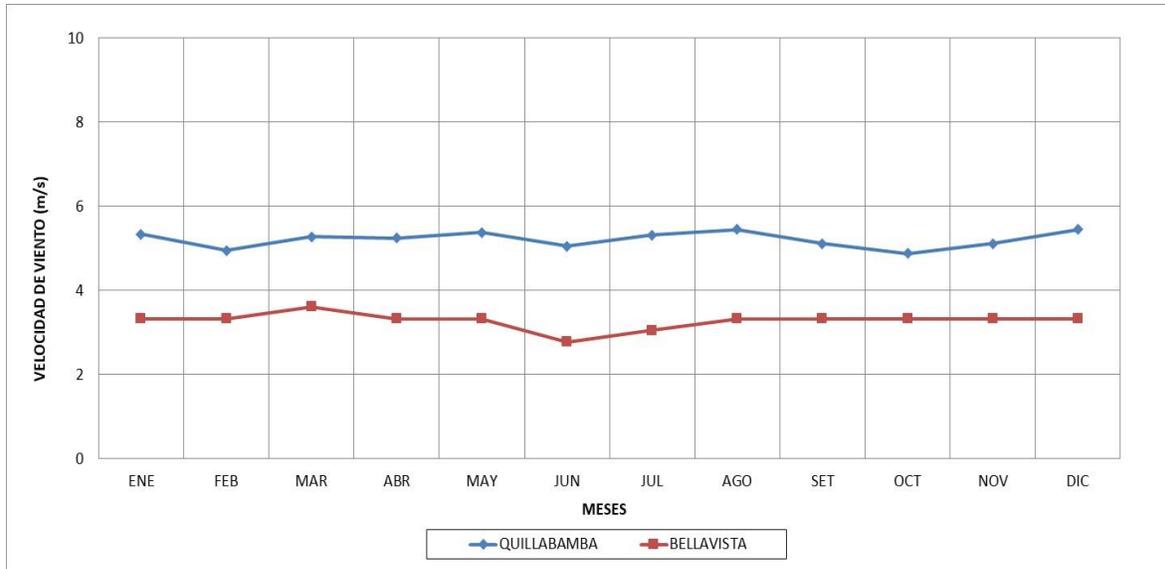


Gráfico 40 Variación mensual de la Velocidad de viento (m/s)

Asimismo, se puede observar que las altas velocidades de viento se dan en los meses de invierno y bajas en los meses de verano, y según su clasificación estas velocidades llegan a ser una categoría de grado moderado a fuerte.

Radiación solar

La radiación solar se mide en forma directa utilizando instrumentos que reciben el nombre de radiómetros y se puede estimar mediante modelos matemáticos que correlacionan la radiación con el brillo solar. Los radiómetros solares como los piranómetros o solarímetros y los pirheliómetros, según sus características, pueden servir para medir la radiación solar incidente global (directa más difusa), la directa (procedente del rayo solar), la difusa, la neta y el brillo solar.

Asimismo, se considera al brillo solar como la magnitud física de la duración del brillo solar o insolación es el tiempo, siendo la unidad de medida la hora. Con fines climatológicos, se utilizan expresiones tales como: "horas de Sol al día", "horas de Sol efectivo en el día" u "horas de insolación diaria".

También se hace referencia a la duración de la insolación extraterrestre posible (SDo) o a la duración de la insolación máxima posible (SDmax). Los promedios mensuales de horas de Sol al

día se pueden multiplicar por los días del mes respectivo para obtener el promedio del acumulado de horas de Sol al mes.

Y según los resultados de radiación solar anual varían desde los 12.0 Kjm-2dia-1 hasta 15.7 Kjm-2dia-1, presentándose las mayores radiaciones en las zonas bajas y menores radiaciones en las zonas altas, tal como se muestra en el grafico 41.

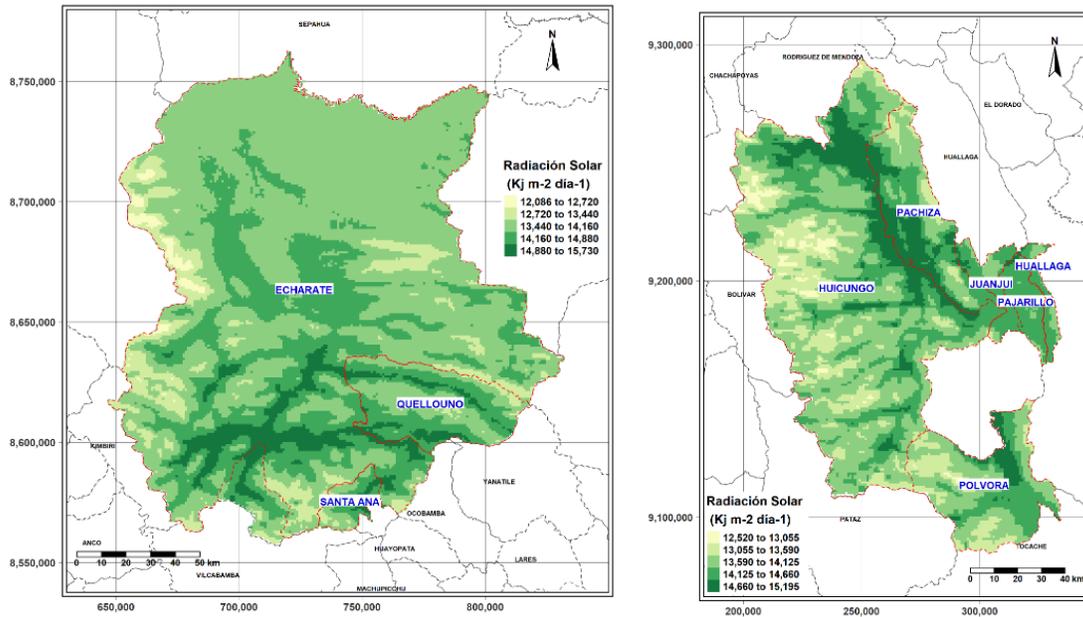


Gráfico 41 Mapa de Radiación solar a) Margen Derecha los distritos de San Martín y b) Margen izquierdo los distritos de Cusco

Para el análisis de las horas de sol (Brillo solar) se obtuvo información de las estaciones de Quillabamba y Bellavista, observándose una variación de horas de sol promedio anual de 4.78 horas/día y 5.61 horas/día. Asimismo, se observa a nivel mensual que las horas de sol altas se presenta en los meses de invierno llegando hasta 7.03 horas/día y las más bajas en los meses de verano llegando a 3.37 horas/día, tal como se muestra en el grafico 42.

Evapotranspiración potencial

La Evapotranspiración de Referencia (ET₀), es una variable generada para estimar las pérdidas de agua en el suelo a causa de factores como la Temperatura y Brillo Solar que al relacionarla con la precipitación obtenemos lo que se denomina el Balance Hídrico. Se generó una nueva representación espacial de las variables de precipitación media anual y la temperatura media anual a una resolución de 1.0 km², tal como se muestra en el grafico 43.

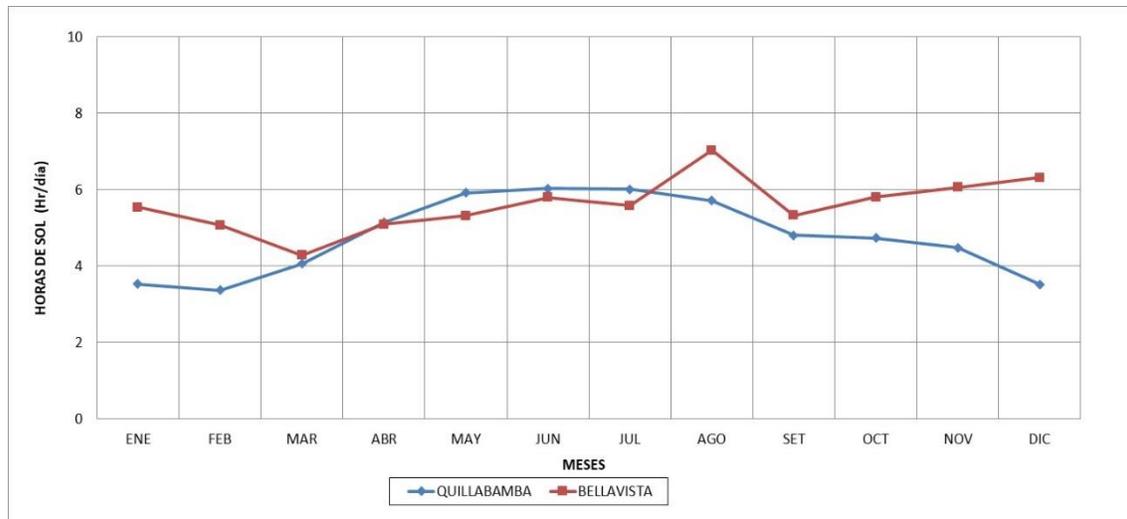


Gráfico 42 Variación mensual de Horas de sol (horas/día)

Para la estimación se ha aplicado el método de Turc descrito por L. Turc en 1961 se basa sobre la temperatura del aire y la radiación solar recibida en la superficie, principal fuente de energía que alimenta el proceso de evapotranspiración. Es uno de los métodos clásicos de mayor uso en el mundo debido a sus buenos resultados para calcular la Evapotranspiración de Referencia (ET₀) en mm día⁻¹.

Y según los resultados se observa la Evapotranspiración potencial varían desde los 400 mm/año hasta 1484.00 mm/año, presentándose las mayores tasas de evapotranspiración en las partes bajas. En cuanto, ET₀ en las zonas productoras de Cacao se tiene valores que varían desde los 780 mm/año hasta los 1272 mm/año.

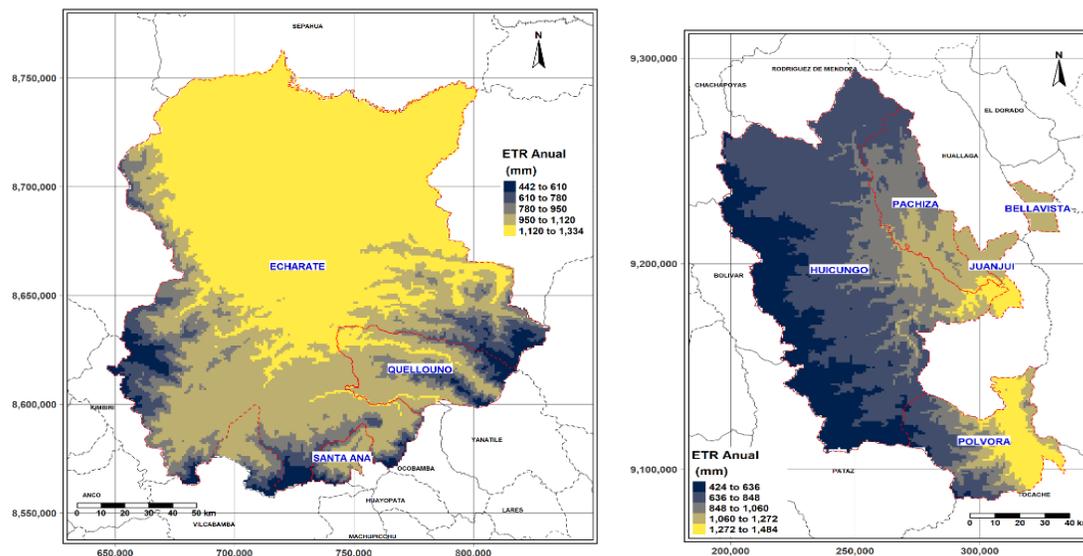


Gráfico 43 Mapa de Evapotranspiración Potencial en mm/año a) Margen Derecha los distritos de San Martín y b) Margen izquierda los distritos de Cusco



Selección de Zonas Homólogas de Cacaos de Calidad Diferenciada

Selección y Caracterización de Zonas Homólogas para Colombia

El desarrollo, calidad y rendimiento de un cultivo, están determinados mayormente por la interacción de diferentes factores como el clima, los atributos físicos y químicos del suelo y las prácticas de manejo que se implementen durante el proceso productivo (época y densidad de siembra, riego, fertilización, entre otros). La variabilidad espaciotemporal de dichos factores requiere analizar cada sistema productivo como una unidad, caracterizada en términos de manejo y condiciones ambientales específicas. A partir de la definición e identificación de aquellos materiales de calidad diferenciada, es posible caracterizar los sitios de ubicación con base en una definición biofísica en búsqueda de patrones comunes que condicionen el establecimiento para el cultivo. Para ello, es necesario considerar factores tanto edafológicos como climatológicos que nos permitan entender las diversas condiciones medioambientales sobre las cuales es posible un óptimo crecimiento y desarrollo para estos materiales.

Con la caracterización y delimitación espacial de las variables edafoclimáticas bajo la implementación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), es posible extrapolar las condiciones de un cultivo en particular a sitios con ofertas medioambientales homólogas, que sin ser zonas con características idénticas, si son ampliamente representativas y confiables para obtener patrones similares de desarrollo en el cultivo.

El cacao es uno de los cultivos más importantes y promisorios del sector agrícola en los departamentos de Tolima y Huila; el establecimiento de cultivos en esta región del país viene en aumento en la última década, sin embargo, muchos cultivos se han establecido en suelos y condiciones climáticas que no son las más favorables para lograr la mejor expresión genética del cultivo. En este sentido, se hace necesario implementar procesos de zonificación de tierras que permita conocer de manera más acertada las áreas con mayor potencial para el establecimiento de este cultivo.

En esta investigación se realizó un sondeo de los materiales más promisorios y con mejores características del cultivo en los departamentos de Huila y Tolima. Una vez seleccionados, se identificaron los suelos y entorno medioambiental asociado a los mismos, con el propósito de poder identificar aquellas zonas edafoclimáticas homólogas en las que muy posiblemente puedan desarrollarse estos materiales con similares resultados.

Localización y Caracterización Biofísica de Sitios de Materiales de Calidad Diferenciada

La localización de los materiales de calidad diferenciada identificados para el departamento del Tolima se encuentra distribuidos de la siguiente manera: *T11-1*, municipio de Planadas (vereda El Silencio); *T12-3*, municipio de Planadas (vereda Coloradas); *T15-2*, municipio de Ataco (vereda San Antonio de Pole); y *T30-1*, municipio de Palocabildo (vereda Pavas). Para el municipio de Huila, los materiales se encuentran situados así: H01, municipio de Campoalegre (vereda Palmar Bajo); H02, municipio de Rivera (vereda Salado); H08-2, municipio de Rivera (vereda Agua Fría); y H09, municipio Campoalegre (vereda Palmar Bajo) (Gráfico 44).

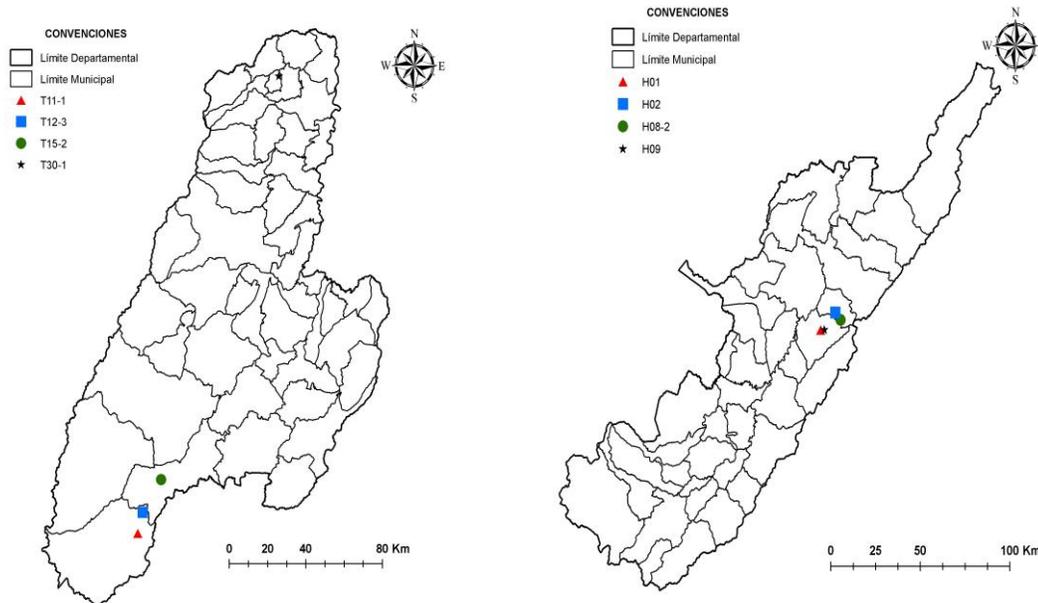
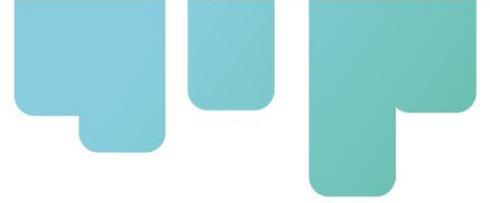


Gráfico 44. Distribución espacial de los materiales de calidad diferenciada identificados para los departamentos de Tolima y Huila

Es necesario aclarar que los valores reportados para las propiedades fisicoquímicas de los suelos de las zonas homólogas identificadas corresponden a una información general reportada en los estudios generales de suelos y zonificación de tierras de los departamentos de Tolima y Huila (IGAC, 2004,2002). En este contexto, estos valores pudieron haber variado para las condiciones actuales, teniendo presente la gran variabilidad temporal que presentan estas propiedades edáficas. Los valores reportados pueden servir como referencia, más no, como parámetros para la toma de decisiones en los planes de fertilización de los suelos del sector. Para los planes de fertilización local se debe acudir al muestreo actualizado y la realización de los respectivos análisis físicos, químicos y biológicos en cada predio.



Selección de Variables e Identificación de Zonas Homólogas

Para la determinación de las variables que tienen mayor influencia sobre el rendimiento, se pueden utilizar técnicas para reducción de dimensionalidad como por ejemplo análisis de componentes principales o técnicas de selección de variables. Cuando se quiere construir un modelo, es preferible reducir la cantidad de variables para conseguir un mejor resultado, sin embargo, el problema radica en determinar cuáles y cuántas variables utilizar para obtener el mejor desempeño.

En este proyecto se desarrolló un marco espacial global que delimita dominios de extrapolación de tecnologías basado en variables biofísicas (climáticas y edáficas) relevantes para el rendimiento de cultivos en sistemas de producción de cacao. Pese a que con el tiempo las prácticas de manejo para este cultivo han evolucionado con el fin de generar mayor rendimiento, aún se presenta desconocimiento por parte de los agricultores respecto a cómo afrontar los efectos de la variabilidad climática sobre sus cultivos. Con ello, la agricultura depende en gran medida de experimentos a campo para identificar tecnologías agrícolas apropiadas para un determinado ambiente productivo, evaluar las interacciones entre dichas tecnologías, y comprender sus efectos a largo plazo sobre las propiedades edáficas que influyen la productividad de los cultivos y el medioambiente

Sin embargo, la extrapolación de las variables edafoclimáticas está limitada por la falta de un información relevante que permita identificar áreas de cultivo con similares características edáficas y climáticas donde sería esperable una respuesta similar a la tecnología evaluada. Del mismo modo, la capacidad de utilizar esos resultados para priorizar inversiones y evaluar el impacto de dichas inversiones se encuentra limitada por la falta de un método para extrapolar resultados locales a nivel regional, nacional, y global. Con el desarrollo de una metodología robusta capaz de delimitar regiones homogéneas en las que las tecnologías agrícolas respondan similarmente, contribuiría a superar las restricciones descritas anteriormente.

En principio, el impacto de una tecnología dada, y su probabilidad de adopción por parte de productores, debería ser predecible dentro de una región espacialmente definida con similares atributos biofísicos (principalmente propiedades climáticas y edáficas) y socio-económicos tales como: precio de insumos y productos, tamaño de la explotación agrícola, acceso al crédito y los mercados. Como un primer paso hacia el desarrollo de una metodología apropiada, en este estudio se focalizó en los atributos biofísicos que definen la condiciones medioambientales para cultivos de cacao, reconociendo la necesidad de contar con atributos socioeconómicos, especialmente en regiones donde los productores presentan grandes limitaciones al acceso de insumos, maquinarias, crédito, mercados y conocimientos, pero que dadas las condiciones de acceso a información no es posible considerarlas (Gráfico 45).

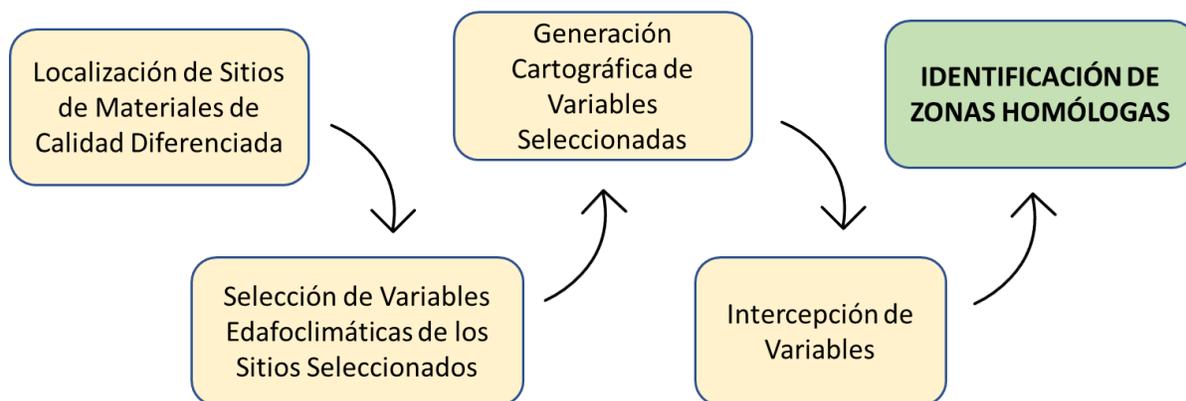


Gráfico 45. Diagrama de flujo metodológico definido para la identificación de zonas homogéneas para los cacaos con calidad diferenciada

Identificados los sitios para cada material, se continúa con el flujo metodológico definido seleccionado las variables edafoclimatológicas necesarias para caracterizar el cultivo. Para ello, se seleccionaron ocho (8) variables edafológicas las cuales explican no solo el material rocoso predominante sino también su estructura física a la cual el material se adaptó para su desarrollo. Estas variables son: Unidad Cartográfica de Suelo (UCS), Taxonomía, Textura, Régimen de Humedad, Materia Orgánica, Profundidad Efectiva, Pendiente y Drenaje Natural. Estas características físicas de los suelos fueron consideradas a partir del Estudio General de Suelos del Departamento del Tolima a escala 1:100,000 realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Dentro de las variables climatológicas seleccionadas tenemos la Precipitación y la Temperatura como principales factores condicionantes (Tabla 2).

Tabla 2. Variables edafoclimáticas seleccionadas para la generación de zonas homogéneas

Tipos de Variables	Variables
Edafológicas	Unidad Cartográfica de Suelo (UCS)
	Taxonomía
	Textura
	Régimen de Humedad
	Materia Orgánica (%)
	Profundidad Efectiva
	Pendiente (%)
	Drenaje Natural
Climatológicas	Temperatura (°C)
	Precipitación (mm/año)

Zonas Homólogas de Cacaos de Calidad Diferenciada del Departamento del Tolima

En el departamento del Tolima se identificaron los materiales T30-1, T15-2, T12-3 y T11-1, considerados de calidad diferenciada; estos materiales se han originado en áreas con condiciones edáficas y biofísicas especiales. Su distribución geográfica se puede apreciar en el Gráfico 46.

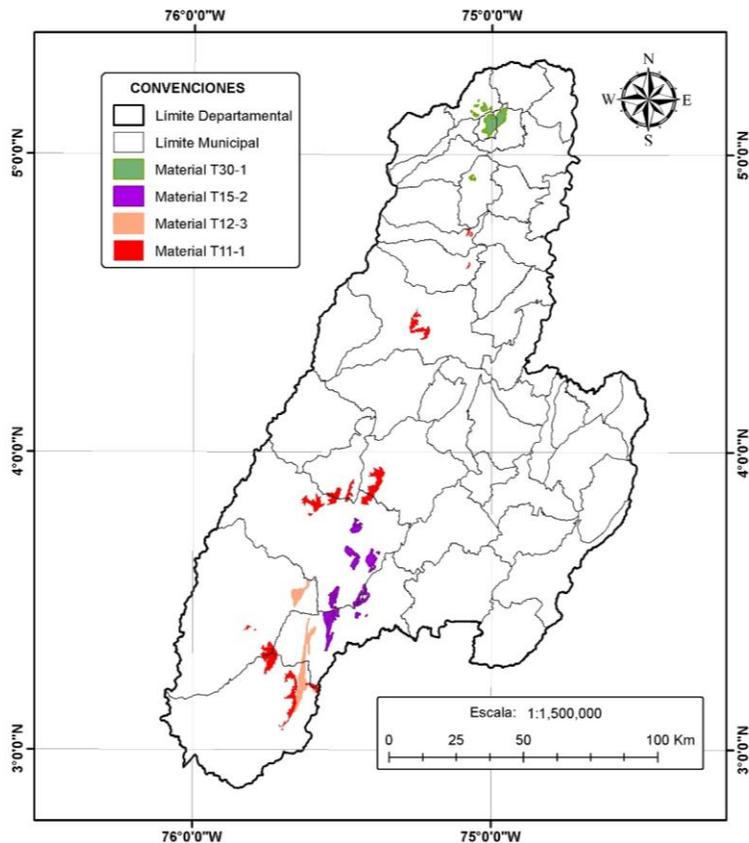


Gráfico 46. Distribución de las zonas homogéneas de los lugares donde se identificaron materiales de calidad diferenciada (cultivo de cacao) en el departamento del Tolima.

Para el departamento del Tolima, el material T30-1 presenta condiciones similares sobre los municipios de Falan y Fresno al norte del departamento, por lo que es posible que allí se presenten condiciones únicas para su normal crecimiento y desarrollo. Las zonas homologas para el material T15-2 situado en el municipio de Ataco, se extiende parcialmente sobre este mismo municipio y en pequeño sectores del municipio de Chaparral. Para el material T12-3 situado en el municipio de Planadas, se encontraron zonas con características similares a alas dispuestas sobre los municipios de Ataco y Rioblanco. Por último, el material T11-1 es posible disponer de características aptas para su desarrollo sobre los municipios de Rioblanco, Chaparral, San Antonio y Ortega.

A continuación, se describen las principales características edafológicas y biofísicas asociadas a las zonas homologadas donde se identificaron los materiales de calidad diferenciada en el departamento del Tolima.

Zonas Homólogas de Cacaos de Calidad Diferenciada del Departamento del Huila

En el departamento del Huila se identificaron los materiales H02, H08-2, H09 y H01, considerados de calidad diferenciada: Al igual que en el departamento del Tolima, estos materiales se han originado en áreas con condiciones edáficas y biofísicas especiales. Su distribución geográfica se puede apreciar en el Gráfico 47.

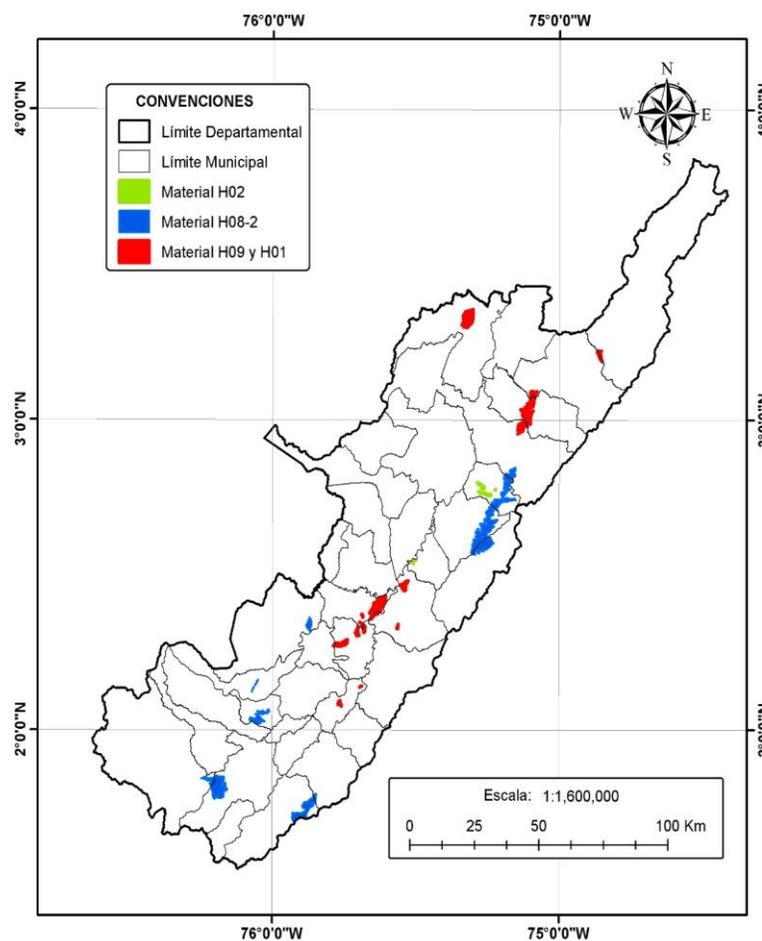


Gráfico 47. Distribución de las zonas homologadas de los lugares donde se identificaron los materiales de calidad diferenciada en el departamento del Huila.



Para el departamento del Huila, el material H02 no presenta grandes zonas de expansión salvo un corto sector ubicado en el municipio de Hobo, pero sin tener mayor representatividad. El material H08-2 es el que más proyección se genera para el departamento con zonas demarcadas sobre los municipios de Acevedo, Pitalito, Oporapa, La Argentina, La Plata, Algeciras, Campoalegre y Neiva. Por último, el material H09 y H01 se proyectan posibles zonas de expansión hacia los municipios de Hobo y Palermo.

A continuación, se realiza la descripción de las principales características edafológicas y biofísicas asociadas a las zonas homólogas donde se identificaron los materiales de calidad diferenciada en el departamento del Huila.

Selección y Caracterización de Zonas Homólogas para Perú

El uso actual de los suelos consiste en la destinación asignada al suelo, de conformidad con las actividades que se puedan desarrollar en la misma. Y según los mapas de uso de suelo en las zonas productoras de Cacao, se observa un uso actual de áreas destinadas con fines agrícolas y a una agricultura diversificada, tal como se muestra en el gráfico 48.

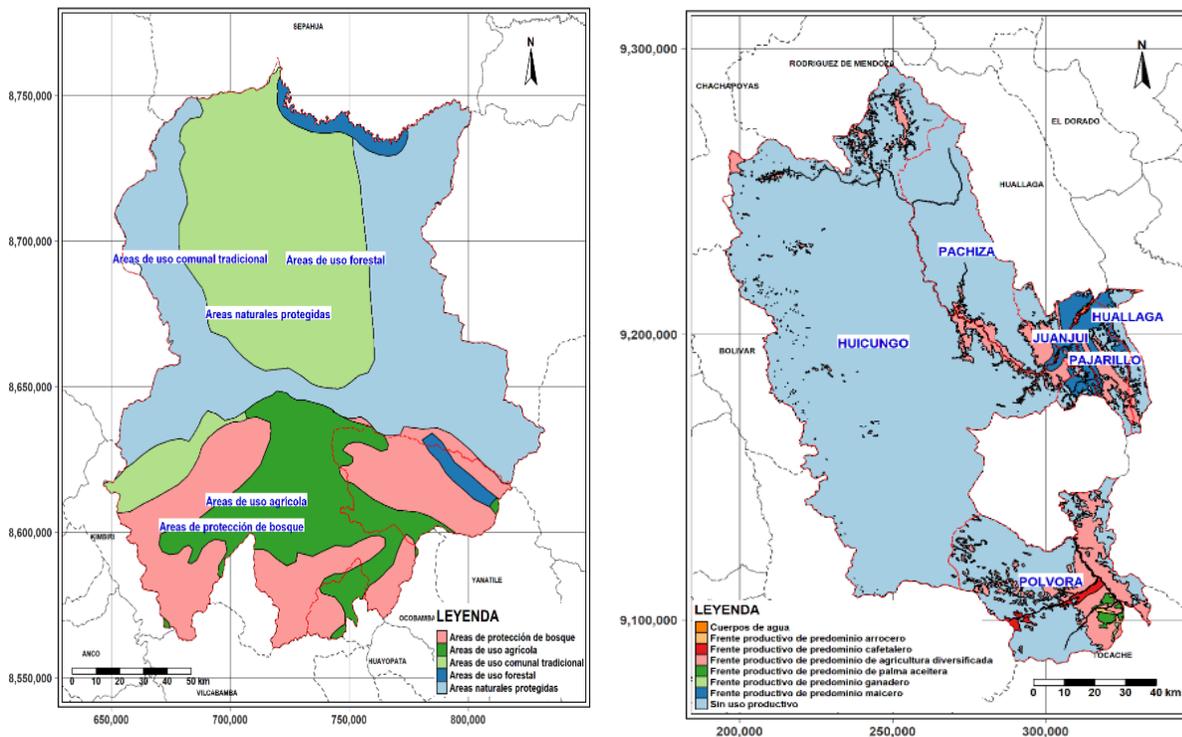
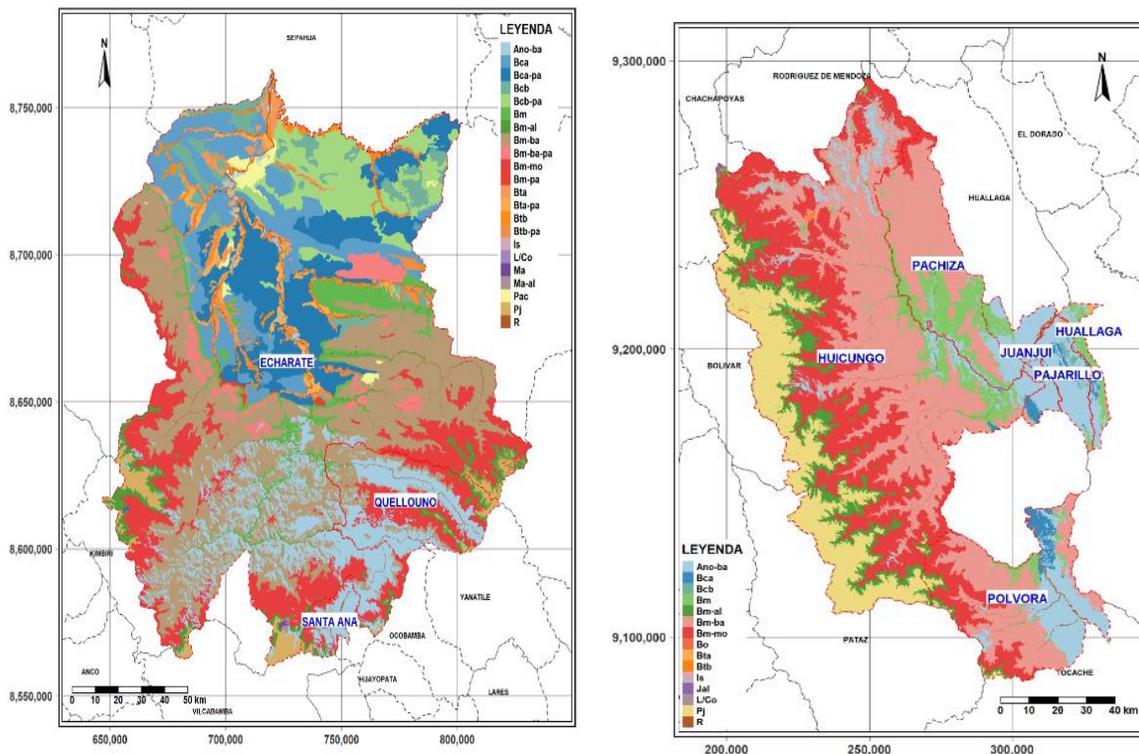


Gráfico 48. Mapa de Uso Actual de Suelos a) Margen Derecha los distritos de San Martín y Margen izquierda los distritos de Cusco

Cobertura vegetal

La caracterización de la cobertura terrestre y el uso del suelo de un área, así como sus cambios espacio temporales en relación con las actividades humanas, es fundamental para entender y predecir la dinámica de los componentes del paisaje. Además, proporciona un marco de referencia para el estudio de la sucesión y la dinámica de los ecosistemas, y es una herramienta esencial para el diseño de políticas y estrategias de planificación, conservación y manejo sostenible de los recursos naturales, para lo cual es necesario la producción periódica de la capa nacional a unos intervalos temporales definidos técnicamente, que permitan establecer los cambios sucedidos en los ecosistemas del país.

La delimitación de las coberturas de la capa terrestre corresponde a un importante factor delimitador de zonas con uso potencial distinto al uso agrícola como Territorios Artificiados, Bosques y Áreas Seminaturales, Áreas Húmedas y Superficies de Agua. A partir de lo anterior, se consolidarán núcleos estratégicos para el establecimiento de cultivos como el Cacao Andino en relación con las condiciones agro-climatológicas óptimas.



El Perú es uno de los países con mayor diversidad de ecosistemas del mundo, los cuales se



caracterizan por su gran complejidad vegetal, climática, geomorfológica y edáfica. El Ministerio del Ambiente (MINAM) es el encargado de conducir el proceso de inventario y evaluación del patrimonio natural; y, como tal, ha elaborado el Mapa Nacional de Cobertura Vegetal, el cual constituye una herramienta de gestión de los recursos naturales y de los servicios ecosistémicos en el marco de la política nacional del ambiente. En el gráfico 50 se muestra la cobertura vegetal presente en cada una de las zonas en estudio. Según los resultados obtenidos se observa que las zonas productoras de Cacao presentan una cobertura vegetal predominante denominada área de bosque no amazónico y áreas con agricultura.

Zonificación Biofísica de las Áreas con Diferente Aptitud para el Cultivo de Cacao

La utilización de herramientas metodológicas que nos permitan conocer la viabilidad del territorio para el establecimiento de los diferentes cultivos se constituye en un instrumento de planificación muy importante para las zonas rurales del país. Históricamente en muchos lugares del territorio colombiano se han venido estableciendo cultivos en diferentes regiones, desconociendo el potencial biofísico de las tierras, lo que ha conllevado en muchos casos al fracaso económico de los agricultores porque la oferta ambiental (características de las unidades de tierra) no tienen la aptitud requerida para el desarrollo óptimo de los cultivos.

En este contexto, esquemas metodológicos como el de la evaluación de tierras propuesto por FAO (1985), en la que se propone, para la determinación de la aptitud de las tierras para cultivos específicos, un completo análisis desde la perspectiva socioeconómica, biofísica y ambiental del territorio. En Colombia, y en diferentes lugares del mundo, ya se han realizado ejercicios aplicativos de esta metodología con muy buenos resultados en términos de la determinación de la viabilidad del territorio para diferentes cultivos, garantizando para los agricultores muy buenas posibilidades de éxito en la implementación de estos. En el presente trabajo, se realizó el análisis de aptitud biofísica de las tierras en los departamentos de Tolima y Huila para el cultivo de cacao, aclarando que este análisis no incluyó el análisis la viabilidad socioeconómica y ambiental del cultivo.

Dentro de los resultados obtenidos se lograron delimitar, de manera espacial, las zonas con diferente grado de aptitud biofísica, así como las zonas no aptas para el establecimiento del cultivo en los dos departamentos. Se obtuvo una salida cartográfica cuya información de bases se tomó a escala 1:100.000, en la que se pueden observar las áreas zonificadas con los diferentes niveles de aptitud para el cultivo. Es importante resaltar, que debido a la escala a la cual se tomó la información biofísica, el alcance de esta información tiene aplicabilidad a nivel regional y no a nivel de predio.

En el departamento del Tolima se identificaron aproximadamente 788.524 ha con algún grado de aptitud para el cultivo (Gráfico 51), mientras que en el Huila, el área con posibilidades para el establecimiento del cultivo ascendió aproximadamente a las 320.189 ha (Gráfico 52).

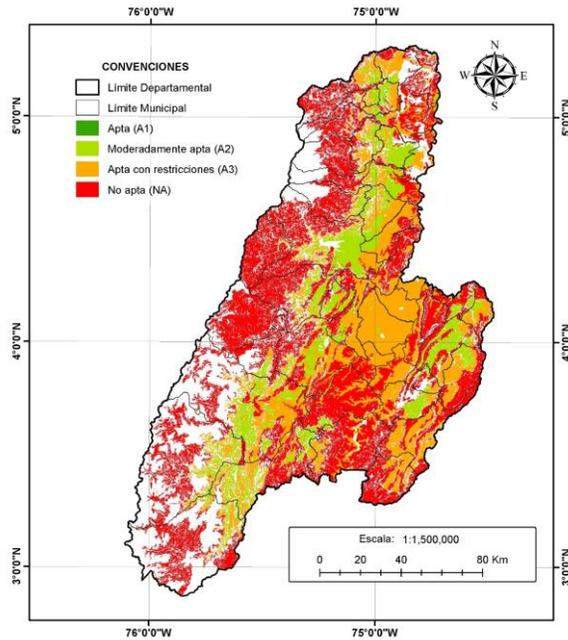


Gráfico 51. Zonas con algún grado de aptitud biofísica para el establecimiento del cultivo de cacao en el departamento del Tolima.

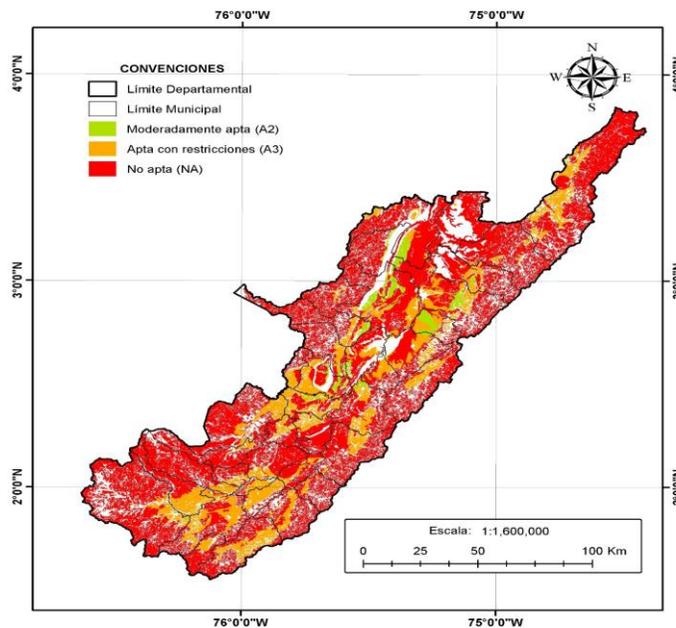
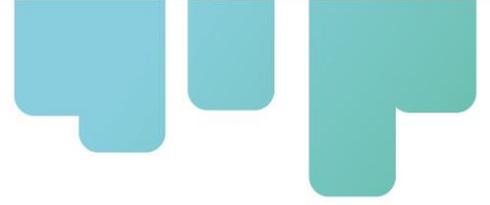


Gráfico 52. Zonas con algún grado de aptitud biofísica para el establecimiento del cultivo de cacao en el departamento del Huila.



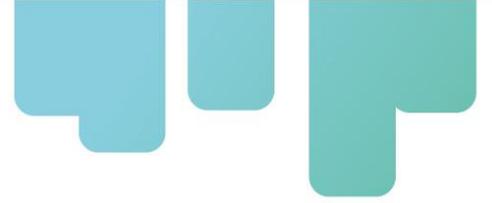
Conclusiones

- Según los resultados de clima y topografía, ambas zonas productoras en Perú y Colombia presentan condiciones climáticas y topográficas óptimas para la producción de cacao, siendo posible la ampliación de la frontera de este cultivo, considerando los materiales seleccionados en el proyecto por su buena calidad.
- Según los resultados de suelo y capacidad de uso mayor de suelo, se cuenta con suelos de buena aptitud agrícola, es decir suelos, buenos para la producción cacao.
- Las zonas productoras de Cusco y San Martín presentan características similares para la producción del cultivo de cacao, considerándose zonas homólogas por lo que pueden establecerse materiales semejantes considerando una buena productividad y calidad.
- En Colombia los materiales encontrados en Huila pueden replicarse únicamente en ese departamento, en cambio los materiales encontrados en el departamento del Tolima, pueden buscar ser replicados en otras zonas del departamento



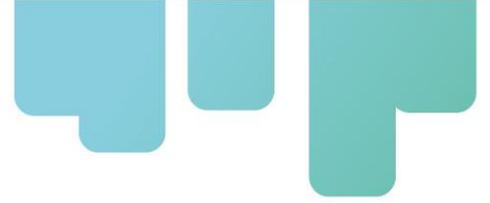
Recomendaciones

- Instalar una red de estaciones meteorológicas en las zonas productoras de cacao.
- Realizar estudios de Modelos de Cambio Climático para conocer la variabilidad climática hasta el año 2100.
- Continuar con el monitoreo de los suelos para una caracterización agrícola de las nuevas áreas a incorporar.

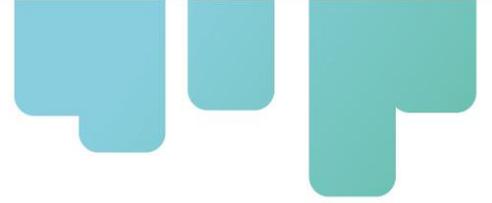


Referencias Bibliográficas

- Abd El-Wahed, M. & Snyder, R. (2015). Calculating Sunshine Hours and Reference Evapotranspiration in Arid Regions When Solar Radiation Data are Limited. *Irrigation and Drainage*, Vol 64. DOI= 10.1002/ird.1920.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300(9), D05109.
- Alvim, P. de T. (1977). Cacao. In: *Ecophysiology of Tropical Crops*. Alvim PT & Kowsloswisky TT (eds.), Academic Press, New York, pp. 279-313.
- Alvim, P. de T. (1987). Relaciones entre factores climáticos y producción de cacao. En 10th International Cocoa Research Conference (pp. 34-42). Santo Domingo, República Dominicana: Cocoa Producers' Alliance.
- Arvelo, M. A., González, D., Maroto, S., Delgado, T., & Montoya, P. (2017). Manual técnico del cultivo de cacao: buenas prácticas para América Latina. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Bondar, G. (1938). Fatores diversos e moléstias do cacau na Bahia. Bahia ICB. Boletim Técnico Série Pragas e Moléstias no 2. 18 p.
- Chica, J. et al. (2020). El sistema productivo del cultivo de cacao en el sur del Tolima, 1ª. ed. -- Universidad del Tolima, Gobernación del Tolima, Sistema General de Regalías.
- DANE. (2016). Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA). Históricos. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-portema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena/encuestanacional-agropecuaria-por-departamentos>
- Duke, J. A. (1983). *Theobroma cacao* L. Recuperado de https://hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Theobroma_cacao.html.
- Eslava, M. (2011). 5. Huila: cacao fino y de aroma. Secretaría Técnica de la Cadena de Cacao en el departamento del Huila. Recuperado de <http://www.huila.gov.co/publicaciones/5067/cadena-productivacacao/descargar.php?idFile=7277>
- Evans, H. C. (1981). Pod Rot of Cacao caused by *Moniliophthora roreri* (Monilia) *Phytopathological Papers*, No. 24. CMI, Kew, Surrey, England. 44p.
- Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao). (2015). Guía técnica para el cultivo del cacao (6.a ed.). Bogotá, Colombia: Autor.
- García, J., Arguello, A.L., Mantilla, J., Ramírez, L.E., Vergel, L., Figueroa, L. & Ortíz, L.A. (2006). Caracterización y tipificación socioeconómica y tecnológica del sistema de producción de cacao en Colombia. Fase: Santander, Norte de Santander, Huila y Tolima. Mosquera, Colombia: Corpoica – Produmedios.
- García, J., Romero, M., & Ortiz, L. (2007). Evaluación edafoclimática de las tierras del trópico bajo colombiano para el cultivo de cacao. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de



- Investigación Agropecuaria (Corpoica). Recuperado de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/2189>
- Gobernación del Huila. (2015). Evaluación Agropecuaria 2015. Recuperado de <https://www.huila.gov.co/publicaciones/5032/evaluacionesagropecuarias-476/>
- Gobernación del Huila. (2017). Evaluación Agropecuaria 2017. Recuperado de <https://www.huila.gov.co/publicaciones/5032/evaluacionesagropecuarias-476/>
- González-Rouco, J.F., J.L. Jiménez, V. Quesada & F. Valero. 2001. Quality control and homogeneity of precipitation data in the southwest of Europe. *Journal of Climate*, 14: 964-978.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento del Tolima. 2004. Bogotá. Memoria técnica en CD.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento del Huila. 2002. Bogotá. Memoria técnica en CD.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos y Zonificación Física de Tierras. 2005. Bogotá. 184p.
- Leite, R. et al (1980). Ação do vento e da radiação solar na ruptura do pulvino foliar do cacauero. *Revista Theobroma* 104:235-251.
- MADR. (2018). Cadena productiva cacao - área, producción y rendimiento. Evaluaciones agropecuarias municipales 2007-2017. Datos abiertos. Recuperado de: <https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/produccion-cacao-por-departamento/97ki-syuv/data> MADR, 2018.
- Martínez, R. (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos (2.a ed.). Tepatitlán de Morelos, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; Campo Experimental Centro Altos de Jalisco.
- Medeiros, A.G. & Alvim, P. (1967). Influência do gás carbônico e da umidade do ar na esporulação do *Phytophthora palmivora* (Butl.) ButhTurrialba, 17 (1):18-22.
- Méndez, H., Palencia, G. E., Ramírez, M., & Roveda, G. (2006). Zonificación de tierras por su aptitud para el cultivo de cacao en el occidente del departamento de Boyacá. Bucaramanga, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Montealegre, J.E., (2007): Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño Y La Niña en Colombia. Contrato No 063 IDEAM – Bogotá, Colombia.
- Moses, L. E. 2014. Wilcoxon-Mann-Whitney Test: Definition and Example. Wiley StatsRef: Statistics Reference Online.
- Müller, M.W. & Pinho. (1992). Preparo de área e proteção dos cacaueros. In: Sistema de Produção Müller & Valle CIÊNCIA, TECNOLOGIA E MANEJO DO CACAUEIRO 39 de Cacau no Recôncavo da Bahia Pinho AFS, Müller MW, Santana MBM (Eds.), CEPLAC/CEPEC, 73p.
- Paulhus, J. L. H., & M.A. Kohler, 1952. Interpolation of Missing Precipitation Records. *Mon. Wea. Rev.*, 80, No.8, 129-133.
- Pérez, U. et al. (2016). Evaluación de tierras para diez tipos de utilización en el Departamento del Tolima a Escala 1:100.000. Ibagué: Universidad del Tolima & Gobernación del Tolima.



- Peterson, T.C., R. Vose, R. Schmoyer & V. Razuvaev. 1998b. Global historical climatology network (GHCN) quality control of monthly temperature data. *International Journal of Climatology*, 18: 1169-1179.
- Poure, M.E.D.; Fries, C. 1987. Efectos ecológicos de los eucaliptos. Estudio FAO 59. Roma. 106p.
- Ramírez Chamorro, L. E., Abaunza González, C. A., Rodríguez Polanco, L., Varón Devia, E. H., Barragán Quijano, E., & Rojas Molina, J. (2020). Modelo productivo para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) para el departamento del Huila. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
- Rocha, H.M. & Wheeler (1982). The water balance as an important factor in basidiocarp production by *Crinipellis pernicioso*, the causal fungus of cocoa witches' broom. *Proc. 8th Int. Cocoa Res. Conf. Cartagena, Colombia*, pp. 381-386.
- Rocha, H.M. & Wheeler (1985). Factors influencing the production of basidiocarps and the deposition and germination of basidiospore of *Crinipellis pernicioso*, the causal fungus of witches' broom on cacao (*Theobroma cacao* L.). *Plant Pathol.* 34:319-328.
- Rojas, F. & Sacristán Sánchez, E. J. (2013). Guía ambiental para el cultivo del cacao. Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao); Fondo Nacional del Cacao. Recuperado de https://www.fedecacao.com.co/portal/images/recourses/pub_doctecnico_s/fedecacao-pub-doc_05B.pdf
- Sáenz, B. & Cabezas, M. (2007). Un acercamiento a la ecofisiología del cacao. *Innovación y Cambio Tecnológico*, 6(6), 44-50.
- Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas (SIOC). (2018). Cadena de cacao. Indicadores e instrumentos. Marzo 2018. Recuperado de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2018-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Siqueira P.R., Müller M.W. & Pinho A.F. 1987. Efeito da irrigação na produtividade do cacauzeiro. In: *Anais do XVI congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, 1987, pp. 116-127.
- Trenberth, K. E., & D. A. Paolino, 1980: The Northern Hemisphere sea-level pressure data set: Trends, errors and discontinuities. *Mon. Wea.Rev.*, 108, 856–872.
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria – UPRA (2013), “Consolidación de la Metodología General de Evaluación de Tierras para la Zonificación con Fines Agropecuarios a Nivel Nacional”.
- United States Department of Agriculture (USDA). Keys to Soil Taxonomy. United States Department Of Agriculture. Soil Conservation Service, Eighth edition. Washington D. C. 1999. 325 p.
- Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). 1985. Directivas: evaluación de tierras para la agricultura en secano. Servicio de recursos, manejo y conservación de suelos. Dirección de fomento de tierras y aguas. Roma. 192p.

Instituciones participantes



Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



www.fontagro.org

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org