

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LAS ZONAS CACAOTERAS Y
SU CRECIMIENTO ECONÓMICO EN EL MUNICIPIO DE SAN
VICENTE DE CHUCURI DEPARTAMENTO DE SANTANDER**

Manuel Julián Carvajal Ramírez

**Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Maestría en Tecnologías de la Información Geográfica
Manizales, 2024**

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LAS ZONAS CACAOTERAS Y SU
CRECIMIENTO ECONÓMICO EN EL MUNICIPIO DE SAN VICENTE DE CHUCURI
DEPARTAMENTO DE SANTANDER

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Magíster en
Tecnologías de la Información Geográfica

Director (a):

Ph.D. Silvia Eugenia Barrera Berdugo

Codirector (a)

Mtr. Ingris María Osorio Martínez

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Maestría en Tecnologías de la Información Geográfica
Manizales, 2024

Resumen

El Departamento de Santander se ha consolidado como el productor de cacao más importante en el Colombia, con un 41% de la producción nacional, siendo San Vicente de Chucuri, el mayor productor de cacao en el departamento (27%). Al no contar el municipio con un registro actualizado del porcentaje del área cultivada con cacao, este proyecto tuvo como objetivo analizar la dinámica de las áreas cacaoteras que se ha presentado en los años 2010, 2015, 2020 y 2023 en San Vicente de Chucurí, para actualizar el porcentaje de áreas sembradas con cacao en el municipio e identificar el impacto económico generado por el aumento de las áreas sembradas. Por medio de un análisis multitemporal basado en cuatro años diferentes y a partir de datos, gráficos y mapas, con procesos hechos en el software ArcGIS y la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, donde se obtuvo la información del área total sembrada, por hectárea sembrada, rendimiento del cultivo y valor del grano en el mercado nacional, en los años 2010, 2015, 2020 y 2023, a partir de la interpretación y procesamiento de imágenes satelitales Landsat y datos recopilados del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, AGRONET y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística y mapas de usos y cobertura de la tierra del el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Donde se obtuvieron los mapas del área de estudio para los cuatro años evaluados, la cartografía actualizada y con la información colectada se realizarán los cuadros comparativos correspondientes y el análisis del crecimiento de las áreas de caca en el municipio.

Palabras clave: Análisis multitemporal, cacao, impacto económico, San Vicente de Chucurí.

Contenido.	Pág.
Contenido	
1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación	4
1.1 Descripción del área problemática	4
1.2 Formulación del problema	5
2. Antecedentes	8
3. Objetivos	22
1.2 Objetivo general	22
1.3 Objetivos específicos	22
4. Referente Contextual	23
5. Referente Normativo y legal	25
6. Referente teórico	26
6.1 Características generales del cacao	26
6.2 El cultivo del cacao en Santander	28
6.3 Sistema de Información Geográfica (SIG)	30
6.3.1 Generalidades del programa ArcGIS	30
6.4 Análisis multitemporal de imágenes satelitales	31
6.5 Metodología Corine Land Cover.	35
7. Hipótesis de investigación	40
8. Metodología	41
9. Resultados	47
10. Análisis y discusión	55
11. Conclusión	59
12. Referencias bibliográficas	61
13. A NEXOS	67

Lista de figuras

<i>Figura 1.</i> Ubicación del municipio de San Vicente de Chucurí en el departamento de Santander..	23
<i>Figura 2.</i> Matriz de confusión para el proceso de validación de datos de campo. Obtenido de: Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación.....	36
<i>Figura 3.</i> Valoración del coeficiente Kappa. Obtenido de: Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación.....	39
<i>Figura 4.</i> Diagrama metodológico.....	41
<i>Figura 5.</i> Ubicación espacial del municipio de San Vicente de Chucurí en el departamento de Santander.....	42
<i>Figura 6.</i> Modelo cartográfico.....	46
<i>Figura 7.</i> Combinaciones de banda análisis de vegetación, a) Landsat LT05- 2010, b) Landsat LC08 2015, c) Sentinel-2A 2020 y d) Sentinel-2A 2023.....	48
<i>Figura 8.</i> Clasificación de las coberturas, a) año 2010, b) año 2015, c) año 2020 y d) año 2023.....	49
<i>Figura 9.</i> Reporte de clasificación de las coberturas, a) año 2010, b) año 2015, c) año 2020 y d) año 2023.....	50
<i>Figura 10.</i> Área en cacao; a) año 2010, b) año 2015: c) año 2020 y d) año 2023.....	51
<i>Figura 11.</i> Crecimiento de área de cacao en municipio San Vicente de Chucurí.....	51
<i>Figura 12.</i> Dinámica de cultivo de cacao; a) año 2010, b) año 2015: c) año 2020 y d) año 2023.....	55

Lista de tablas**Pág.**

Tabla 1. Regiones agroecológicas donde se cultiva Cacao.....	28
Tabla 2: combinaciones de bandas.....	35
Tabla 3: Dinámica de las áreas en cacao.....	42

Introducción

Latinoamérica apostado en el desarrollo económico en aquellos productos que antes ellos aportaban como materia prima y hoy se están convirtiendo en la mayor fuente de exportación en los grandes mercados, tal es el caso del cacao, que ha generado un crecimiento exponencial, es de significativa importancia, dado que la producción y el comercio del grano aportan a la economía nacional de la mayoría de los países subdesarrollados López et al. (2020). El cacao (*Theobroma cacao* L.) reúne varias características que lo convierten en un cultivo con gran impacto desde el punto de vista económico, social y productivo. Es un cultivo que ha se ha mantenido como uno de los principales de la economía de las familias colombianas.

A pesar de que la pandemia ocasionada por la Covid-19 desde el año 2020 impactó a todos los sectores económicos en el mundo, el subsector cacaotero en Colombia alcanzó una producción de 63.416 toneladas en ese mismo año; Esto debido a la demanda de granos de cacao como materia prima por parte de las industrias de alimentos, farmacéutica y cosmética, incrementado la dinámica de exportaciones del grano de cacao desde Latinoamérica hacia los mercados de Europa, Estados Unidos y algunos mercados asiáticos según la (Federación nacional de cacaoteros, 2021).

Para Colombia, la balanza comercial del grano de cacao se ha comportado de forma positiva en los últimos años, ya que se ha acelerado la producción nacional como consecuencia del buen manejo agronómico del cultivo por parte de los productores. Así mismo, programas incentivados por instituciones como FEDECACAO, AGROSAVIA y algunas empresas nacionales, se han enfocado en mejorar los procesos de fertilización, renovación y manejo

poscosecha del cultivo de cacao, así como el aprovechamiento de productos de origen biológico y amigables con el medio ambiente. Sin embargo, factores como el bajo rendimiento de la producción del grano, la baja productividad de las plantaciones con cultivos de edad avanzada, pocos incentivos al pequeño productor por parte del Estado, la escasez de mano de obra calificada y la inestabilidad de los precios, se han convertido en limitantes de la cadena productiva del cacao en Santander, aun siendo el departamento con mayor producción de cacao en el país.

El Departamento de Santander se ha consolidado como el productor de cacao más importante en Colombia, mientras que San Vicente de Chucurí se ha convertido en el mayor productor del departamento, beneficiándose de las condiciones edafo-climáticas del lugar que favorecen su producción y destacándose por encima de otros municipios como El Carmen de Chucurí, El Playón, Landázuri, Lebrija y Rionegro. Adicionalmente, el municipio de Guadalupe es una zona emergente y potencial para el cultivo del cacao en Santander.

En los últimos años, el crecimiento poblacional, el cambio en el uso del suelo y la crisis económica, han afectado la disposición de las áreas cacaoteras en Santander. Por lo tanto, para tener un buen conocimiento del desarrollo del cultivo del cacao en San Vicente de Chucurí y su dinámica económica, es necesario conocer el municipio a través del tiempo, para lo cual, es indispensable evaluar los diferentes escenarios por los que el territorio ha evolucionado. La falta de información de la zona de estudio genera un problema importante para la ejecución y aplicación de proyectos, ya que algunos se basan en sitios específicos y no considerando el municipio en su totalidad.

El aprovechamiento de las herramientas digitales permite la generación de proyectos de gran impacto en la agricultura, medibles a través de indicadores de crecimiento económico y de desarrollo de la población. El análisis multitemporal es un análisis de tipo espacial que permite monitorear y comparar cambios en el uso del suelo y de coberturas vegetales a lo

largo del tiempo/espacio a partir de interpretaciones de fotografías, imágenes satelitales o mapas de un mismo lugar. Estos estudios permiten detectar cambios entre diferentes fechas de referencia, de donde se deduce la evolución del lugar o las repercusiones de la acción antrópica sobre el ambiente, razón por la cual, provee información relacionada al manejo de los recursos naturales, para tomar decisiones sobre políticas y/o medidas que se deben adoptar en planes de ordenamiento territorial.

Los análisis multitemporales en relación con procesos de erosión, deforestación y cambios en el uso del suelo y cobertura vegetal natural a pastos y cultivos, es el enfoque principal de este tipo de estudios en Colombia. Para cultivos como caña de azúcar y palma de aceite se han realizado este tipo de análisis, no obstante, hasta el momento no se han reportado datos relacionados a cambios en las áreas sembradas de las zonas productoras de cacao en Santander y como se ve afectada la economía del municipio o del departamento.

En este contexto, la realización de este proyecto busca analizar la dinámica de las áreas cacaoteras que se ha presentado en los últimos 10 años en el municipio de San Vicente de Chucurí, Santander, por medio de un análisis multitemporal; así mismo, actualizar el porcentaje de áreas sembradas con cacao en el municipio a partir de datos, gráficos y mapas, con procesos hechos en el software ArcGIS y con base en la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia. Adicionalmente, se busca identificar el impacto económico generado por el aumento de las áreas sembradas con cacao.

1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación

1.1 Descripción del área problemática

El departamento de Santander es el responsable de aproximadamente el 41% del total de cacao que se produce en Colombia, lo que equivale a 28.037 toneladas producidas anuales en el departamento (Fedecacao, 2022). San Vicente de Chucuri es el municipio con mayor producción de cacao en el departamento, aproximadamente 27% del cacao que se produce en Santander y a la fecha, viene ampliando sus áreas de siembra en sustitución de otros cultivos tales como el café y el banano (Rodríguez, 2020).

Dada la importancia económica del cacao en la región y el aumento en la producción del mismo en los últimos 10 años, pasando de 16.225 toneladas en el 2012 a 28.037 toneladas en el 2021 (Fedecacao, 2022), hasta el momento, no se cuenta con información detallada y actualizada acerca del área total cultivada con cacao en el departamento, distribuida entre los municipios de Cimitarra, El Carmen de Chucurí, El Playón, Landázuri, Lebrija, Rionegro y San Vicente de Chucurí, donde estimados de áreas plantadas con cacao se atribuyen a fincas de entre tres y diez hectáreas (Oliveros y Pérez, 2013). Por esta razón, es importante que el departamento proponga metas claras que sean de satisfacción para los integrantes de la cadena productiva del cacao, principalmente los productores del grano.

El municipio de San Vicente de Chucurí, siendo uno de los municipios con mayor producción del grano en el país, alcanzó una de las mayores producciones en el 2016 con 8.117 toneladas (Citado por Villareal, 2021) y no cuenta con un registro digital del cambio en el área cultivada con cacao en los últimos 10 años, lo que permitiría establecer el porcentaje del área cultivada con cacao con respecto al número de fincas que representan dicha área y como se relaciona con el crecimiento económico de San Vicente de Chucurí, en generación de empleo, costos de montaje y mantenimiento del cultivo (insumos, mano de obra). Por medio de un análisis multitemporal y a partir de datos, gráficos y mapas, con procesos hechos en el software ArcGIS y con base en la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, se puede establecer una base de datos actualizada que pueda ser modificada y de utilidad para futuras investigaciones

1.2 Formulación del problema

Lo anterior nos lleva a formular preguntas cuya respuesta contribuirán a mejorar la comprensión de la dinámica frente al cambio de áreas cultivadas con cacao en el municipio de San Vicente de Chucurí ¿Cuál es la dinámica del cambio en el porcentaje de áreas cultivadas con cacao en el municipio de San Vicente de Chucurí en los periodos de 2013, 2017 y 2021, y qué aspectos económicos están asociados a los cambios que se observan en el porcentaje de áreas cultivadas con cacao?

1.3 Justificación

Para tener un buen conocimiento del crecimiento económico en áreas de producción agrícola importantes para el país, es necesario conocer el desarrollo del cultivo en dicho territorio a través del tiempo. En San Vicente de Chucurí, una región principalmente cacaotera, no se cuenta con información digitalizada y actualizada que muestre los cambios que se han dado en las áreas cultivadas con cacao en los últimos años. Por tal razón, se desconoce el efecto que factores como el crecimiento poblacional, el cambio en el uso de suelo y la crisis económica, podrían tener en el crecimiento económico del municipio, derivado de la producción del cacao.

Los estudios multitemporales proporcionan información importante del cambio en el uso del suelo, usando periodos de tiempo como referentes (Arévalo & Méndez, 2011). Un análisis multitemporal de zonas cacaoteras en San Vicente de Chucurí, permitirá generar cartografías actualizadas con información relacionada a cambios en las áreas cultivadas con cacao a través del tiempo. A partir de estas cartografías, se podrán identificar los puntos con mayor y menor ganancia de cobertura cacaotera en el municipio y que áreas son sustitución de otros cultivos tales como el café o el banano por cacao y viceversa.

Para entidades como FEDECACAO es importante disponer de información actualizada y precisa sobre área cultivada con cacao para determinar el rendimiento del cultivo a través del tiempo, mientras que para la Alcaldía del Municipio es información que puede ser utilizada en la formulación de Planes de Ordenamiento Territorial (Vela & Rodríguez, 2016). Por otro lado, para cooperativas de cacaoteros y pequeños productores, la información generada a partir de este proyecto les permitirá tener acceso a paquetes tecnológicos entregados por parte de la Federación Nacional de Cacaoteros, para mejorar el rendimiento de sus cultivos (Fedecacao, 2022).

En Colombia, este tipo de estudios se realizan para evaluar la pérdida de la cobertura vegetal o cambios en el uso del suelo para actividad agrícola y/o urbana (Bastidas y Naranjo, 2020; Chaparro, 2017; Vela & Rodríguez, 2016). En este proyecto, se busca actualizar el

porcentaje de áreas sembradas con cacao en el municipio de San Vicente de Chucurí, con base en la metodología Corine Land Cover y adicionalmente, se evaluará el impacto económico en el municipio a partir de un modelo de crecimiento productivo.

2. Antecedentes

Arguello et al., (1999). Incrementar la productividad agroeconómica de las producciones de cacao de tal manera que se refleje en la calidad de vida de los cacaocultores. En 1999, aproximadamente 18.000 familias dependían directa o indirectamente del cultivo, procesamiento y comercialización del cacao, en el nororiente colombiano. Por tal razón, la generación de tecnología, a partir de árboles de cacao de elite obtenidos en bancos de germoplasma, fueron entregados a los agricultores a través de UMATAS y agremiaciones, para mejorar la rentabilidad del cultivo y los ingresos para estas familias.

Instituto Von Humboldt (2006). Organización de los sistemas de información geográfica. Los sistemas de información geográfico se han presentado como una herramienta de trabajo en instituciones y empresas públicas, que trabajan con datos georreferenciados. Las aplicaciones de los SIG están en la cartografía automatizada, gestión territorial, medio ambiente, recursos mineros, tráfico, entre otros campos.

Atencia, Contreras & Vergara (2008). Delimitar y analizar la intervención antrópica en las ciénagas que conforman el complejo Bajo San Jorge. El complejo Bajo San Jorge comprende 28,32% de ciénagas en aguas altas, 5,30% de cultivos, 1,38% de suelos desnudos, 49,55% de rastrojos, 9,27% de pastos y aproximadamente un 5,05% a cuerpos de agua en movimiento. En la zona de estudio se observa evidente deforestación, lo que está afectando la parte socioeconómica de la región.

Arévalo & Méndez (2011). Analizar la dinámica de la cobertura de las zonas cafetaleras que se ha presentado desde los años 1996 hasta el 2010 y el impacto socioeconómico de la reducción de las áreas de café. Para el análisis multitemporal de la cobertura cafetalera se realizó la sobreposición de los mapas de las zonas sembradas con café de los años 1996, 2002 y 2010. Utilizando el programa ArcGIS se obtuvo un mapa del área cafetalera clasificando el área sembrada según la altura: Estricta Altura, Media altura y Bajío. Esta clasificación es importante porque permite mejorar los precios de venta del café en el mercado nacional e internacional. Los resultados obtenidos en El Salvador mostraron una pérdida de 50.144 hectáreas de siembra, lo que provocó un impacto social y económico negativo en la población caficultora, reflejado en la pérdida de empleos y el abandono de la población en busca de estabilidad económica para sus hogares. Adicionalmente, se identificó que el costo del mantenimiento del cultivo es difícil, debido al elevado precio de los insumos y a la falta de recursos financieros o subsidios del gobierno.

González & Romero (2013). Analizar los cambios de la cobertura de la tierra y las implicaciones de la expansión del cultivo de palma de aceite en el municipio de Villanueva Casanare entre la década de 2002 -2012. Los estudios realizados en Colombia sobre las implicaciones ambientales y sociales del cultivo de palma son análisis regionales de los núcleos palmeros y aquellos centrados específicamente en los cambios del uso de la tierra. En estas modelaciones espaciales no es posible identificar los impactos en el entorno biofísico local y los impactos sociales en el municipio. En los resultados reportados en este trabajo, los cambios en la cobertura de la tierra están ligados a la dinámica de las actividades principales de la zona, el cultivo de palma. Para la época analizada, los mayores cambios se

observaron en los pastos limpios generados por la expansión de los cultivos de arroz, mientras que las ganancias de esta cobertura remplazaron bosques de galería. En el caso de la palma de aceite, se observó un incremento en el área sembrada que se atribuye al remplazo de pastos limpios principalmente, seguido de vegetación secundaria y bosques de galería.

Fonseca & Gómez (2013). Analizar, el cambio de área, con dos imágenes satelitales Landsat, en las laderas de la ciénaga de Tumaradó ubicada en de La reserva parque Natural Los Katíos, ubicado entre el departamento del Choco, en límites con el departamento de Antioquia, en los años 1991 y 2001. El Parque Natural Los Katíos, es un área protegida en el Chocó que representa la transición entre la provincia biogeográfica del Chocó y del Caribe. Hace parte de un refugio húmedo, correspondiente a las serranías del Darién y Limón que interrumpía el corredor árido existente entre la planicie costera del Caribe y Panamá. Después de realizar las dos clasificaciones, con dos diferentes softwares, ArGis y ERDAS 8.7, se observaron pocos cambios con respecto al área, esto se puede atribuir a que las imágenes fueron capturadas en diferentes fechas y que es una zona que presenta lluvias entre mayo y noviembre.

Rebollo (2013). Determinar las tendencias de cambio en el uso del suelo en complejo de páramos Tota – Bijagual –Mamapacha para el periodo comprendido entre 1992 y 2012. El uso de técnicas de Teledetección e imágenes satelitales ópticas en el estudio del complejo de páramos Tota – Bijagual – Mamapacha, es limitado por la complejidad de las condiciones climáticas características de este tipo de zonas, la presencia de grandes extensiones cubiertas por nubes y bruma eliminaron gran cantidad de información crucial para un buen análisis de

resultados. Para el periodo evaluado en este trabajo, 1992 y 2012, el complejo de páramos mostró una gran transformación en el uso y cobertura del suelo, para cultivos agrícolas y principalmente la actividad minera, demostrando pérdidas en la vegetación nativa de los páramos.

Hidalgo et al., (2014). Tipificar las fincas cacaoteras en la subcuenca media del río Huayabamba, distrito de Huicungo en la región San Martín. La Cooperativa Agraria Cacaotera ACOPAGRO cuenta con 332 productores de los cuales 77 de ellos fueron encuestados sobre los siguientes seis componentes: familia, recursos naturales, actividad agrícola, económica, tecnológica y de gestión, social. Las fincas cacaoteras están agrupadas en tres tipos, el grupo I fue el mayoritario con 68% de las fincas, se caracteriza por desarrollar otras actividades paralelas al cultivo del cacao, tiene un sistema de producción convencional, con plantaciones policlonales y un rendimiento promedio de 963.46 Kg ha⁻¹, cifra que supera la media regional y nacional. El grupo II con 13 % de las fincas reúne fincas de producción orgánica, donde predominan plantaciones híbridas asociadas con el material CCN51, que tienen un rendimiento que no supera el rendimiento regional, pero si el nacional. En el grupo III, se encuentran plantaciones monoclonales que usan únicamente el material CCN-51. Los resultados sugieren que, para implementar proyectos de mejora tecnológica, estos deben ser específicos para cada uno de los tres grupos identificados en la zona de estudio.

Padilla & Salazar (2015). Identificar los posibles efectos sobre la biodiversidad en un transecto del norte de la Región Natural Andina y del Caribe colombiano, mediante el

análisis multitemporal del cambio de las coberturas de la tierra por cultivos de agrocombustibles entre los años 2001 a 2014. El análisis multitemporal fue realizado con imágenes satelitales LANDSAT 7 y LANDSAT 8 para los años 2001 y 2014, respectivamente. Se realizó la estimación del cultivo de palma de aceite en ArcGIS 10.1, para los dos periodos de tiempo evaluados. Una vez establecidas las áreas de los cultivos de palma de aceite se estimó el reemplazo directo de estas áreas de palma sobre la cobertura de bosques y áreas seminaturales, el cual fue de 49.468,89 Ha para un área parámetro de estudio de 3.103.791,9 Ha. Sin embargo, a partir del estudio multitemporal realizado se pudo concluir que no existe una relación directamente proporcional entre el aumento del área de cultivos de palma de aceite y la pérdida de coberturas de bosques y áreas seminaturales. Según el registro fotográfico y las entrevistas locales, se observó que cultivar la palma de aceite brinda un crecimiento económico a la región, aun cuando los grupos poblacionales se ven obligados a participar de dicha progresión a expensas de sus costumbres y herencia cultural.

Prada, Manrique & Santos (2015). Analizar los costos de producción agrícola de cacao en cuanto a la equidad con los precios de mercado, la productividad del cultivo y el beneficio económico del productor en relación con la rentabilidad, caso finca CASA BLANCA ubicada en la vereda Santa Inés, municipio de San Vicente de Chucuri. Este proyecto fue realizado para productores de Cacao del municipio de San Vicente de Chucurí, Santander, en la finca CASA BLANCA, en el cual se caracterizó todo el proceso productivo del cacao en la fase agrícola, lo que permitió hacer un análisis de los costos integrados al mismo, con el fin de medir la rentabilidad en función a los precios del mercado. La finca Casa Blanca

cuenta con más de 11 hectáreas de cultivo de cacao y la producción de esta materia prima es el ingreso base de una familia campesinos integrada por cuatro personas. Ellos son responsables de administrar la producción y garantizar la rentabilidad del negocio, por eso es importante tener pleno conocimiento de los costos de producción, partiendo de la medición de los márgenes de rentabilidad.

De la Cruz & Muños (2016). Estimar la recuperación de áreas degradadas y cambio de uso de suelo en el municipio de Popayán en el marco del programa “*Silvicultura como alternativa de producción en la zona marginal de la cuenca del río Magdalena*”, mediante el análisis multitemporal de la cobertura vegetal de los años 2003 y 2016. Los cambios de cobertura de uso del suelo en el municipio de Popayán fueron evaluados a través de un análisis multitemporal. La zona de estudio hace parte del programa “*Silvicultura como alternativa de producción en la zona marginal de la cuenca del río Magdalena*”. Dentro del área de estudio se cuantificó la cobertura boscosa tomando como referencia la información de los periodos de 2003 y 2016; utilizando el programa ArcGIS se realizó una clasificación supervisada de las diferentes coberturas presentes en zona. El análisis mostró que, en el periodo de estudio, las zonas de área de bosque se incrementaron en una 3%, (de 37% a 40%), principalmente sobre los bordes de ríos y quebradas. Las plantaciones forestales disminuyeron en 1% lo cual se explica por la rotación y el aprovechamiento forestal maderero al que es sometido el bosque. Los pastos disminuyeron en un 3%, sin embargo, ocupan el 80% del territorio evaluado, siendo la cobertura dominante. Las áreas deforestadas se observan sobre las áreas boscosas en las zonas amortiguadoras de la cuenca del río y en las zonas intermedias. Los relictos de bosque plantado que son resultado de las actividades

de recuperación de la cobertura vegetal, se encuentran en el área rural del Municipio de Popayán, donde hay restricción a la expansión de las fronteras urbanas.

Orozco & Valbuena (2016). Realizar un análisis multitemporal mediante imágenes de sensores remotos, de la explotación a cielo abierto en la mina el Cerrejón municipios de Barrancas y Albania departamento de la Guajira. La implementación de técnicas de procesamiento digital de imágenes permitió reconocer las dinámicas de cambio en los frentes de explotación de la explotación minera a cielo abierto El Cerrejón. La estimación de la tendencia de crecimiento de la actividad minera en los frentes Sur y Norte es exponencial, puesto que ha habido una constante e intensa explotación de carbón. Para el frente Centro las áreas son cambiantes, se asume que esto se debe a que en el tiempo hay momentos del análisis en los que la producción es alta y otros en los que la producción es baja. Las imágenes de radar Alospalsar, generan mayor certeza de las áreas de explotación y las áreas que ocupan vegetación.

Vela & Rodríguez (2016). Identificar los cambios de cobertura de los cultivos de caña de azúcar con relación a las zonas de amenazas y riesgos establecidas en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Palmira, Valle del Cauca entre los años 2001 y 2014. En el periodo comprendido entre 1999 y 2014, el cultivo de caña de azúcar presentó una disminución del 4,2% en el área total de siembra del municipio. Por otro lado, también se observó un crecimiento de área sembrada con caña de azúcar en zonas cercanas al río Cauca, de aproximadamente 594 hectáreas; así mismo, se pudo identificar una disminución de 103 hectáreas en el área de siembra del cultivo en sitio considerados de alto

riesgo. Esto permite realizar recomendaciones o correctivos hacia zonas de laderas de montaña para mantener las áreas de valor natural y paisajístico, cumpliendo con los requerimientos espaciales del POT del municipio.

Chaparro (2017). Desarrollar un modelamiento a partir de datos, gráficas y mapas de cambios en la cobertura vegetal para dos momentos en el tiempo 1986 y 2016, mediante procesamiento en ambiente SIG. El análisis multitemporal de cambios en la cobertura vegetal realizado para el municipio de Paz de Ariporo, Casanare, se basó en el reconocimiento de las unidades presentes en el área de estudio y fotointerpretación de imágenes satelitales con procesos hechos en el programa ArcGIS y según la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia. En la parte sur del municipio la vegetación natural disminuyó en extensión dando paso a áreas de pastos y cultivos; en la parte norte se observó la conservación y crecimiento de los bosques de galería, y en la parte oriental los herbazales arbolados se han mantenido en el tiempo.

Flores-Delgado & Fernández-García (2017). Los SIG como herramienta para la toma de decisiones y desarrollo de planes de actuación frente a diversas situaciones. Los Sistemas de Información Geográfica SIG, son una herramienta fundamental para trabajar con todo tipo de información georreferenciada. Un SIG es un sistema de datos, tecnología (hardware y software), análisis, procedimientos y personal, cumpliendo cada uno con una función determinada dentro del sistema SIG, lo que permite procesar gran cantidad de información proveniente de diversas fuentes, facilitando su consulta y análisis de forma rápida, directa y veraz. Este tipo de sistemas sirve para dar solución a problemas sobre planificación, gestión

y distribución territorial o de recursos. Así mismo, permite que herramientas como la cartografía deje de ser uso exclusivo de profesionales del sector lo que ha permitido que otro tipo de usuarios desarrollen y compartan información cartográfica.

Correa (2018). Discriminar los cambios en coberturas y usos del terreno que posibiliten la comprensión de las transformaciones ambientales del territorio urbano y rural en el municipio de Armenia, Quindío. El análisis multitemporal de este trabajo mostró que en el periodo de 1998 a 2015 se perdió más del 70% del área de bosque y guadua, se observó disminución paulatina en áreas sembradas con café y la mayor densidad de siembra es para el cultivo de plátano. El mayor porcentaje de cambios se observó en coberturas de suelo urbano, que se relaciona a los procesos de crecimiento demográfico que ocurrieron en el municipio.

Grupo GIS (2018). Generar un único documento estándar para el manejo de información geográfica de la Alcaldía de Medellín, garantizando la aplicación de mejores prácticas, que conlleven al desarrollo de sistemas interoperables, eficientes, confiables, y adaptables permitiendo su incorporación en la Geodatabase Corporativa del Municipio de Medellín. Debido a que el Municipio de Medellín no presenta una política clara en materia de información geográfica, con el presente documento se pretende unificar los lineamientos para el manejo de la información geográfica para toda la Alcaldía de Medellín. Geomedellín, el portal geográfico del municipio es una herramienta que permite a universidades, empresas y ciudadanía en general la consulta y descarga de capas geográficas; busca centralizar en un solo sitio los servicios, aplicaciones, módulos, indicadores, datos geográficos y productos

que igualmente deben cumplir con estándares de calidad para su publicación. Toda esta información para que sea accesible a usuarios internos y externos de la alcaldía de Medellín.

Rojas & Castilblanco (2018). Realizar un análisis espacial multitemporal de la expansión del cultivo de palma de aceite en San Carlos de Guaroa durante los periodos 1985, 2000 y 2016, como una respuesta al incentivo político desde el gobierno central, las condiciones ecosistémicas propicias para el cultivo de palma y el establecimiento de grupos sociales fuertes económicamente. El cultivo de palma de aceite ha transformado el ambiente debido a la demanda global de materias primas para biocombustibles, por lo cual, las transiciones del uso del suelo durante los años 1985, 2000 y 2016 en el municipio de San Carlos de Guaroa se identificaron como bosques de galería, cultivo de palma de aceite y áreas de uso agropecuario. Entre 1985 y 2016 el 19,38% del bosque de galería desapareció (1.845,45 hectáreas), con una tasa anual de reducción 59,53 hectáreas y en su mayoría fue reemplazado por palma de aceite. La expansión del cultivo de palma de aceite en este periodo fue estimada en aproximadamente 1.312,56 hectáreas por año.

Acosta & Casallas (2019). Evaluar la relación entre el cambio de coberturas de la tierra y la expansión del cultivo de palma de aceite y proponer los usos recomendados del suelo en el municipio de San Carlos de Guaroa. Mediante el análisis multitemporal se encontró que en el periodo de 1990 a 2019 en el municipio de San Carlos de Guaroa, las coberturas que tuvieron una disminución en su superficie fueron la de bosque de galería y ripario (7.126,64 ha), herbazal abierto (6.539,89 ha), los cuales prestan servicios ecosistémicos de soporte, regulación y provisión, y el mosaico de pastos y cultivos (12.027,64 ha). Se asumió que esta

dinámica de cambio se encuentra directamente relacionada con la ganancia de área del cultivo de palma de aceite, que para el mismo periodo evaluado alcanzó las 22.201,51 ha, consolidando esta actividad agroindustrial como la más importante dentro del sector productivo del Municipio. La caracterización biofísica del territorio y la identificación de conflictos de uso se realizaron con el fin de determinar si la expansión de los cultivos de palma de aceite generó afectaciones directas sobre la parte forestal del municipio o si se dio sobre otras tierras agrícolas, desnudas, pastizales o áreas sin vegetación. Según los resultados se propuso un modelo de uso recomendado que se compone de tres categorías: 1. Áreas productivas, 2. Áreas de protección y conservación y 3. Áreas de desarrollo urbano. Las áreas productivas ocupan mayor extensión debido a que las características biofísicas del municipio facilitan el desarrollo de estas actividades. Los resultados obtenidos pretenden ser aplicados a otras zonas a nivel nacional donde se relacionen las dinámicas de los procesos productivos que en este se llevan a cabo y la funcionalidad ecosistémica de los recursos naturales allí presentes, de manera que se logre una gestión apropiada con el concepto de desarrollo sostenible en relación con el ordenamiento territorial.

Carvajal (2019). Evaluar el contenido de Cd y su distribución en fincas cacaoteras de San Vicente de Chucurí, Dpto. de Santander. La presencia de cadmio (Cd) en el suelo en sistemas agroforestales con cacao puede provenir de fuentes naturales o antropogénicas. Para evaluar el contenido de Cd en el suelo, en fincas cacaoteras del municipio, primero se utilizó un mapa de cobertura y uso de suelo rural del proyecto “Apoyo técnico para la revisión excepcional de los planes y esquemas de ordenamiento territorial de los municipios localizados en la zona de embalse del proyecto hidroeléctrico Sogamoso, del municipio de

San Vicente de Chucuri, como base de las unidades de cobertura adoptadas por la Leyenda Nacional de Coberturas de La Tierra, Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a Escala 1:100.000, elaborada por la unión temporal conurbano, para identificar la zona del municipio de San Vicente de Chucurí con sistemas agroforestales con cacao. Según la distribución espacial, las fincas con mayor contenido de Cd en el suelo se ubican al sur del municipio, mientras que, al norte, se encontró menor contenido de Cd disponible en el suelo, para los cultivos.

Rodríguez & Vargas (2019). Establecer la rentabilidad que se deriva de la producción del Cultivo de Cacao en una zona de alta producción y una zona de mediana producción. En San Vicente de Chucuri, un predio de la vereda Llana fría, la más productora del país, fue escogido para analizar la rentabilidad del cultivo de cacao, comparando los históricos de costos de producción, de cosecha y comercialización de un cultivo en Melgar. A pesar de que el valor del cultivo y el terreno es similar en las dos zonas cacaoteras, en la zona de San Vicente de Chucuri, el producto cuenta con mayor valor, posiblemente porque la intensidad de siembra es mayor. Sin embargo, el menor valor del terreno en la zona de San Vicente de Chucuri influye en la mayor obtención de rentabilidad del cultivo; Melgar es una ciudad turística y cercana a Bogotá. Al compararse con los datos registrados por FEDECACAO, la mayor rentabilidad, que se da en San Vicente de Chucuri es de cinco millones pesos, comparada con la rentabilidad de Melgar que es de dos millones seis cientos mil pesos.

Chavarro (2020). Establecer una estrategia financiera y organizacional para la agro-industrialización del cacao como alternativa desarrollo del municipio San Vicente de

Chucuri. Los cacaoteros de San Vicente de Chucuri no cuentan con actividades que les permita dar valor agregado al cacao, más allá del beneficio primario y acopio. Por esta razón, se elaboró un estudio que demuestre cual es la viabilidad de agro-industrializar el cacao en la región, al pulverizar el grano. Para los agricultores de cacao en el municipio, la obtención del grano de cacao es el punto final del ciclo productivo, esto limita los beneficios económicos a comercializar el producto como materia prima, sin embargo, si el grano es transformado a polvo y se comercializa, se le estaría adicionando mayor capital de trabajo, lo que optimizaría su rentabilidad al ofrecer un producto procesado y de innovación; de esta forma aumentarían los ingresos de los agricultores y se crearía una empresa comunitaria.

Gutiérrez & Cárdenas (2020). Realizar un análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal y el sector agrícola en el municipio del Espinal en el departamento del Tolima. La producción agrícola en el departamento ha aumentado de 1.471.600 toneladas en el 2013 a 1.666.254 toneladas en el año 2019. En el municipio del Espinal, se ha visto un aumento progresivo del sector agrícola durante los últimos años, convirtiéndose en afectaciones para el medio ambiente. Siete tipos de coberturas fueron identificadas, de las cuales los cultivos permanentes, cultivos transitorios y los pastos limpios, en ese orden abarcaron mayor área del municipio. Los cambios reflejados en la cobertura vegetal del año 2019 en este municipio están relacionados principalmente a las actividades económicas de la zona, destacándose el aumento de los cultivos permanentes y la disminución de los cultivos transitorios por los altos costos, pocos beneficios y poca comercialización.

Unidad de Gestión de Riesgos Agropecuarios -UGRA (2020). Brindar información general del cultivo del cacao en Colombia y su agroindustria, así como del comportamiento del portafolio de FINAGRO para dicho producto. La producción mundial de cacao en el período 2018/2019 fue de 4,7 millones de toneladas y se proyectó que para el período 2019/2020 los 4,8 millones de toneladas (+1,7%). Esta producción proviene de Costa de Marfil, Ghana, Indonesia y Ecuador. Los precios internacionales de referencia del cacao se forman en la Bolsa de Nueva York y para el tercer trimestre del año 2020 se registran USD 3.205 por tonelada. Las exportaciones del 2019 superaron las 9 mil toneladas valoradas siendo los principales destinos México, Malasia, Bélgica, EE. UU., Argentina, Holanda e Indonesia. En Colombia, el área sembrada promedio y en el 2020 el área sembrada preliminar fue de 189 mil hectáreas, distribuidas en los departamentos de Santander (31,6%), Antioquia (8,7%), Nariño (8%) y Arauca (7,8%).

Villarreal (2021). Diseñar un modelo de transformación digital para el sector Cacaotero que contemple como referente el Green Project Management. En este trabajo se realizó un modelo de digitalización agrícola para la producción de cacao en el Municipio de San Vicente de Chucurí, Santander, partiendo del uso de nuevas tecnologías y la formulación de proyectos verdes como métodos para contrarrestar los efectos del cambio climático en la agricultura. Para lograr lo anterior se realizó un análisis de la evolución de la productividad agropecuaria bajo el uso de las nuevas Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC's) y de su transición hacia la era digital maximizando, innovando y mejorando las capacidades técnicas y de competitividad en el incremento de la producción agropecuaria

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar los cambios del suelo en las zonas cacaoteras y su crecimiento económico en el municipio de San Vicente de Chucurí departamento de Santander en el periodo de 2010 - 2023

3.2 Objetivos específicos

- Determinar el área de cobertura cultivada en cacao mediante imágenes de satélite para el periodo de 2010 -2023, en el municipio de San Vicente de Chucurí, Santander.
- Realizar un análisis multitemporal de la cobertura de los suelos cultivado con cacao en el municipio de San Vicente de Chucurí, Santander, en los años 2010, 2015, 2020 y 2023.
- Analizar el impacto económico del cambio en la cobertura de los suelos cultivados con cacao a través del tiempo, en el municipio de San Vicente de Chucurí, Santander.

4. Referente Contextual

El municipio de San Vicente de Chucurí se encuentra ubicado en el departamento de Santander y pertenece a la cuenca media del río Magdalena. Está localizado, a 6°52'57'' Latitud Norte, 73° 24' 46'' Longitud Occidental, en la provincia de Mares, al Centro Occidente del Departamento de Santander. Limita al Norte con Barrancabermeja y Betulia, al Oriente con Zapatoca y Galán, al Sur con El Carmen de Chucurí y Simacota y al Occidente con Simacota y Barrancabermeja (Figura 1). La extensión del municipio es de aproximadamente 1.195.41 Km² y con una población total de 38.250 habitantes (Alcaldía San Vicente de Chucuri, 2020).

El municipio es una región productora de varias plantas de interés agrícola y se encuentra en la zona agroecológica denominada Montaña Santandereana, en la Región de los Yariguíez, que recorre a Santander de sur a norte bordeando el Río Magdalena (Mojica & Paredes, 2006).

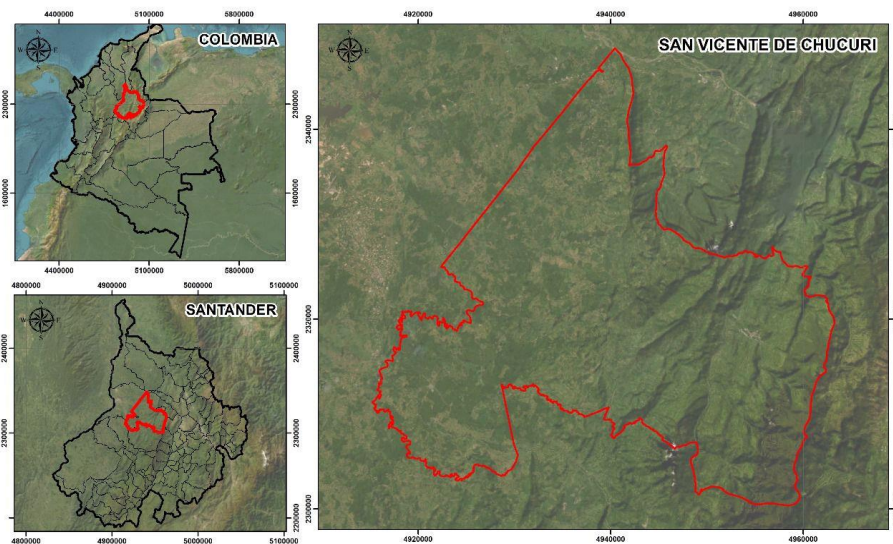


Figura 1. Ubicación del municipio de San Vicente de Chucurí en el departamento de Santander. Fuente: Manuel Carvajal.

El uso del suelo del lugar está distribuido entre bosques, siendo el bosque húmedo tropical predominante, los sistemas agroforestales, la agricultura y la ganadería (Municipio de San Vicente de Chucuri, 2020). En la parte agrícola, en el municipio se cultiva café, cacao, cítricos, aguacate, maíz, banano, yuca y otros frutales (Villareal, 2021). San Vicente de Chucurí es el mayor productor de cacao en Santander. El municipio contribuyó en el 2019 con 7.436 toneladas a partir de aproximadamente 10.627 hectáreas sembradas (Fedecacao, 2020).

El gobierno colombiano ha venido desarrollando una política agrícola con programas de desarrollo alternativo encaminados a promover cultivos para los cuales el país presenta ventajas a nivel internacional, como es el caso del grano de cacao, al ser materia prima en la industria farmacéutica y nutraceútica (Oliveros & Pérez, 2013). Según Fedecacao, en el 2009, Colombia contaba con dos millones de hectáreas potenciales para desarrollar el cultivo del cacao; en el caso particular de San Vicente de Chucurí, no se ha hecho un seguimiento al cambio en el número de hectáreas sembradas con cacao a través del tiempo, ni se conoce el porcentaje actualizado de áreas cultivadas con cacao en el municipio.

5. Referente Normativo y legal

Ley	Artículo
Decreto 1071 de 2015 ICA	Normativa en materia de registro de cultivos forestales y sistemas agroforestales con fines comerciales.
Ley 388 de 18 de Julio de 1997	Art. 5. Concepto Art. 9. Plan de Ordenamiento Territorial

6. Referente teórico

6.1 Características generales del cacao

El cacao es un cultivo que se produce principalmente en regiones tropicales de América Latina, siendo Brasil y Ecuador los mayores productores (Jaimes & Aranzazu, 2010). En Colombia, el subsector cacaotero alcanzó una producción de 63.416 toneladas en el año 2020 (Fedecacao, 2022). La actividad cacaotera tiene impacto importante en los países productores más importantes de América Latina, ya que representa el modo de vida de más de 150.000 agricultores y genera alrededor de 1.500.000 empleos directos en las etapas de producción, procesamiento y comercialización. La producción de cacao en América llega a ocupar una superficie superior a 1.700.000 hectáreas y genera flujos comerciales superiores a los 900 millones de dólares de exportaciones anuales (Arvelo et al., 2017).

El árbol de cacao es de alta exigencia climática, en lo que se refiere a precipitación temperatura y humedad (Tabla 1), razón por la cual, las condiciones extremas de estas variables afectan negativamente la sanidad de la planta. Así mismo, aunque la planta es tolerante a suelos ácido cuando existe alto contenido de nutrientes, la excesiva acidez ($\text{pH} \leq 4,0$) o alcalinidad ($\text{pH} \geq 8,0$) del suelo debe ser evitada. Cuando sufren de estrés hídrico, la formación del fruto, el tamaño del grano y como consecuencia la calidad del cacao se ven perjudicados. (International Cocoa Organization, 2013).

El cacao al ser un sistema de cultivo sombreado tiene un papel importante en la conservación de la diversidad, ya que utiliza árboles de dosel superior para obtener la sombra (Silva,

2010). En Colombia, las condiciones agroecológicas de algunas de las regiones (Tabla 1) llegan a ser muy contrastantes, por lo cual, los productores de cacao se han visto en la necesidad de implementar arreglos agroforestales (Villarreal, 2018), con especies de ciclo corto, de sombrío temporal o transitorio y especies de sombrío permanente, maderables, frutales o cultivos industriales o la combinación de estas especies (FEDECACAO).

Según la fenología del cultivo, el fruto del cacao madura a lo largo de todo el año y normalmente se llevan a cabo dos cosechas que requieren de cinco a seis meses entre la fertilización de la flor y la cosecha de los frutos (Oliveros & Méndez, 2013). Debido a su alto valor nutricional, ocupa el tercer lugar en la canasta familiar mundial, después del azúcar y el café (Oliveros & Méndez, 2013). Sus granos son utilizados principalmente para la producción de chocolates y grasas en las industrias alimentarias y cosmetológicas, respectivamente, por lo cual la demanda de los granos de cacao ha presentado un aumento significativo como materia prima, incrementando la dinámica de exportaciones del grano desde Latinoamérica hacia los mercados principalmente de Europa, Estados Unidos y también algunos mercados de Asia (Oliveros & Méndez, 2013).

Tabla 3. *Regiones agroecológicas donde se cultiva Cacao en Colombia*

Región agroecológica	Características climáticas		
	Altitud msnm	Precipitación mm/año	Temperatura °C
Santander y Norte de Santander.	300 - 1200	1500 – 2000	23 - 26
Eje cafetero, Caldas, Quindío, Risaralda, Antioquia, Santander, Norte del Tolima, Boyacá.	500 - 1200	1500 - 2500	23 - 28
Arauca, Meta, Urabá y Bajo Cauca, Huila	0 – 500	> 2500	26 – 30
Cauca, Valle del Cauca, Tolima, Costa Atlántica.	0 - 500	< 1500	26 – 30

Adaptada de Villareal (2021).

6.2 El cultivo del cacao en Santander

El Departamento de Santander se ha consolidado como el mayor productor de cacao en Colombia, alcanzando el 41% del total del grano de cacao que se produce en el país, lo que equivale a 28.037 toneladas producidas en el departamento (Fedecacao, 2022). Los principales municipios cacaoteros son San Vicente de Chucurí, El Carmen de Chucurí, Landázuri y Rionegro, no obstante, San Vicente y El Carmen de Chucurí son los principales

productores debido a que cuentan con condiciones edafo-climáticas especiales que favorecen la producción del cacao (Mojica & Paredes, 2006). En los últimos años, el municipio de Guadalupe ha venido incrementando el área siembra del cultivo del cacao en el departamento.

San Vicente de Chucurí es un municipio que comprende tierras ubicadas entre los 200 m.s.n.m. hasta los casi casi 3.000 m.s.n.m., con una temperatura promedio de entre 25°C y 27°C y precipitaciones medias anuales del orden de los 2.100 mm, lo que le permite, dadas sus características desarrollar diferentes actividades agrícolas donde predominan los cultivos de café, cacao, cítricos, aguacate, maíz, banano, y yuca (Rodríguez, 2020).

El cultivo del cacao tiene una extensa tradición en la actividad agrícola del municipio, lo que lo hace parte fundamental de la identidad campesina y del territorio como fuente principal de ingresos (Rodríguez, 2020). En el 2020 el municipio llegó a aproximadamente 10.627 hectáreas sembradas con cacao para una producción de 7.436 toneladas métricas; esto indica que una hectárea tiene un volumen de producción de 502 kilogramos de cacao por año, lo que genera baja rentabilidad, porque al recoger la cosecha dos veces en el año, los costos de producción aumentan (Villareal, 2018). Igualmente, el precio del cacao a nivel nacional ha sufrido una disminución en los últimos años, pasando de \$8.545 mil pesos por kilogramo en el 2016 a \$6.753 en el 2019 (Min agricultura, 2020).

6.3 Sistema de Información Geográfica (SIG)

Los SIG son programas computacionales que permite vincular o relacionar la información geográfica con la información descriptiva (<https://www.mineducacion.gov.co/1621/article-190610.html>); como herramienta informática sirve para ingresar, almacenar, gestionar, recuperar, actualizar, analizar y producir información, a partir de zonas geográficas (Correa, 2018). Un SIG cuenta con datos provenientes de diversos estudios, como, por ejemplo, topográficos, ambientales y socioeconómicos, que pueden ser aplicados en diferentes disciplinas, desde la arqueología hasta actividades de marketing (<https://www.mineducacion.gov.co/1621/article-190610.html>).

6.3.1 Generalidades de los programas GIS utilizados

6.3.1.1 ArcGIS PRO

ArcGIS es un sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica, que utiliza una base de datos objeto-relacional con enfoque para el almacenamiento de datos espaciales (Arévalo & Mendes, 2011). ArcGIS permite publicar la información geográfica para que esté accesible a cualquier usuario ArcGIS, caracterizándose por ser una plataforma que permite realizar un trabajo profesional, debido a que permite trabajar con mapas, imprimir capas, implementar el geoprocetamiento para automatizar el trabajo y el análisis y documentar información geográfica (Bastidas & Naranjo, 2020).

6.3.1.2 Qgis

QGIS como paquete de software SIG gratuito y de código abierto, permite guiar a los lectores a través de algunos aspectos básicos de la interfaz de usuario de QGIS, demostrar algunos procesos geoespaciales sencillos con QGIS que pueden ser útiles en investigaciones cuando no se cuenta con paquete de software que tiene algún coste (Flenniken et al 2020).

6.4 Análisis multitemporal de imágenes satelitales

Un análisis multitemporal de imágenes satelitales compara dos o más imágenes de la misma zona geográfica para épocas diferentes. Estos estudios permiten detectar, analizar y monitorear cambios en el uso del suelo y en las coberturas vegetales debido a la intervención antrópica, (Correa & Munera, 2003); se convierte en una herramienta fundamental para la gestión del territorio, ya que permite establecer el comportamiento en cuanto al crecimiento o disminución de los factores que alteran el recurso tierra (Vela & Rodríguez, 2016).

6.4. Características de las imágenes satelitales.

Todas las imágenes utilizadas en el presente estudio, para los diferentes años de estudio, siendo estos 2010, 2015, 2020 y 2023 fueron obtenidas de la plataforma *Copernicus*, ahora bien, aunque fueron obtenidas de la misma plataforma al ser tomadas por distintos satelitales tales como Landsat 5 TM, Landsat 8 OLI y Sentinel 2A, estas imágenes cuentan con diferentes características propias de los sensores y satélites por los cuales fueron tomadas, siendo estas:

6.4.1. Landsat 5

De acuerdo con el INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) el sensor Thematic Mapper o simplemente TM es un avanzado sensor de barrido multiespectral, cuyo propósito es proporcionar una mayor resolución espacial, una mejor discriminación espectral entre los objetos de la superficie terrestre, presentar mayor fidelidad geométrica y mayor precisión radiométrica en relación con el sensor Multispectral Scanner (MSS), cuenta con siete bandas espectrales, las cuales opera simultáneamente, presenta tres bandas en el sector espectro visible, una en el infrarrojo cercano, dos en el infrarrojo medio y una en el infrarrojo termal; las imágenes provenientes de este satélite presentan una resolución espacial de 30 metros en las bandas del visible e infrarrojo medio y 120 metros en la banda del infrarrojo termal, las siete bandas exhiben una resolución radiométrica de 8 BITS, lo que significa que podía representar hasta 256 niveles de brillo en cada banda del sensor, por otro lado la resolución temporal, la cual, mide el tiempo transcurrido desde la obtención de una imagen de un punto de la tierra, hasta la siguiente imagen del mismo punto para el satélite Landsat 5 la resolución temporal es de 16 días. Esta resolución, aunque es alta, en realidad es menos útil de lo que en principio se pudiera pensar, la presencia de nubes ocasiona que las imágenes sean inservibles en algunos casos (Fernández y Herrero, 2001).

El tamaño aproximado de la escena en las imágenes es de 170 kilómetros de norte a sur y 183 kilómetros de este a oeste.

6.4.2. Landsat 8

A diferencia de Landsat 5, cuenta con dos sensores totalmente distintos, siendo estos Operational Land Imager (OLI) y Thermal Infrared Sensor (TIRS), en conjunto los dos sensores cuentan con un total de once bandas espectrales, dispone de, una banda para estudios costera/de aerosoles, tres bandas en el sector del espectro visible, una en el infrarrojo cercano, dos en el infrarrojo de onda corta, una pancromática, una cirrus y dos en el infrarrojo térmico o TIRS (Ariza, 2013) , a excepción de las dos bandas TIRS, las nueve bandas restantes adquieren una resolución espacial de 30 metros, por su parte las TIRS cuentan con una resolución de 100 metros originalmente, sin embargo, estas suelen ser remuestreadas a 30 metros al utilizarse, además, estas imágenes exhiben una resolución radiométrica de 12 BITS, lo que significa que puede representar hasta 4096 niveles de brillo en cada banda del sensor (U.S. Geological Survey, 2023) Al igual que Landsat 5 cuenta con una resolución temporal de 16 días.

Estas imágenes suministran escenas de aproximadamente 190 kilómetros de ancho y 180 kilómetros de alto

6.4.3. Sentinel 2A

Estas imágenes obtenidas a través del sensor Multispectral Instrument (MSI) presentan datos que cuentan con 13 bandas, este sensor ofrece un diseño polivalente de 13 bandas espectrales que atraviesan desde la región visible del espectro e infrarrojo cercano hasta el infrarrojo de onda corta, Sentinel 2 con sensor MSI

dispone de cuatro bandas (2, 3, 4 y 8) con una resolución espacial de 10 m, seis bandas (5, 6, 7, 8a, 11 y 12) a 20m y las últimas tres bandas (1, 9 y 10) a 60 m. Entre estas trece bandas hay tres nuevas bandas en la región del rojo posicionadas a 705, 740 y 783 nm, anchos de banda no vistos anteriormente en satélites de gran cobertura (Sibanda *et al.*, 2015). A diferencia de los anteriores y como se puede apreciar, este satélite cuenta con la particularidad de tener diferentes resoluciones espaciales en cada banda, donde dependiendo del tipo de la misma la visualización de la imagen se verá más o menos limitada. Estas imágenes cuentan con una resolución radiométrica de 12 BITS por píxel, lo que significa que puede representar una gama de 0 a 4095 niveles de intensidad de luz en cada canal. Estas imágenes suministran un amplio campo de visión de alrededor de 290 kilómetros

6.5. Combinación de bandas

Una composición de bandas es una imagen compuesta por la combinación de tres bandas diferentes del sensor y dispuestas cada una en los tres canales de proyección en pantalla: Rojo (R), Verde (G) y Azul (B). La escena en RGB resulta en una imagen a color (Bravo Nino. 2017) esto se hace con el propósito de observar la zona de estudio a través de diferentes composiciones, para el análisis de la vegetación son utilizadas combinaciones como.

Composiciones RGB			Aplicación Principal/ Descripción
Sentinel 2A	Landsat 5	Landsat 8	
4,3,2	3,2,1	4,3,2	Color natural. Es una composición que se aproxima al color real de las coberturas de la tierra ante la vista humana

8A, 4,3	4,3,2	5,4,3	Infrarrojo Color. Esta combinación da como resultado una imagen muy similar a la tradicional fotografía aérea infrarrojo color. Es útil para estudios de vegetación, patrones de suelos, crecimiento de cultivos y monitoreo de drenajes. La vegetación saludable tiende a una apariencia rojo brillante.
11,8A, 4	5,4,3	6,5,4	Análisis de vegetación
11, 8A,2	5,4,1	6,5,2	Agricultura
8A,11,2	4,5,1	4,6, 2	Distinción de vegetación sana

6.5 Metodología Corine Land Cover.

La metodología CORINE LAND COVER, se definió como un sistema de clasificación específico para realizar el inventario de las coberturas vegetales. En Colombia, la base de datos de Corine Land Cover permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a escala 1:100.000 (Bastidas & Naranjo, 2010). Sin embargo, esta clasificación tuvo que ser modificada para el terreno colombiano, ya que este sistema proviene de un programa de homogenización de conceptos para la identificación de cobertura terrestre de la agencia europea del medio ambiente (Vela & Rodríguez, 2016). En Colombia, el IDEAM posee una clasificación basada en Corine Land Cover dividida en 5 grandes capítulos: 1. Territorios artificializados. 2. Territorios agrícolas. 3. Bosques y áreas seminaturales. 4. Áreas húmedas. 5. Superficie de agua. Este sistema sirve como soporte en la toma de decisiones políticas relacionadas con el medio ambiente y los Planes de Ordenamiento Territorial. Como

principal resultado el país cuenta con la "Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra Metodología CORINE LAND COVER adaptada para Colombia" (IDEAM, 2010).

6 6. Matriz de confusión

Para contrastar los datos encontrados en campo y los calculados se utiliza una matriz de confusión, consiste en una tabla que muestra la distribución de los valores reales y las predicciones realizadas por el modelo.

		REFERENCIA RESULTADOS				Exactitud Usuario	Error Comisión
		Clase	Bosque	No bosque	Deforestación		
Resultados de Clasificación	Bosque	A1	A2	A3	$(A1+A2+A3)= X$	EU1	EC1
	No bosque	B1	B2	B3	$(B1+B2+B3)= Y$	EU2	EC2
	Deforestación	C1	C2	C3	$(C1+C2+C3)= Z$	EU3	EC3
	Total	$(A1+B1+C1)= R$	$(A2+B2+C2)= S$	$(A3+B3+C3)= T$	M		
	Exactitud Productor	EP1	EP2	EP3			
	Error Omisión	EO1	EO2	EO3			

Figura 2. Matriz de confusión para el proceso de validación de datos de campo. Obtenido de: Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación.

En esta matriz cada columna representa el número de predicciones de cada clase, mientras que cada fila representa las instancias en la clase real, la matriz de confusión es especialmente útil para evaluar si el sistema está confundiendo dos clases y para identificar dónde se ubican los errores.

De acuerdo con el *Evaluación de la Exactitud del Mapa de Deforestación* formulado en Perú para el año 2014, de la matriz se desprenden los siguientes datos:

Clase: Representa las coberturas presentes en la zona.

Clases bien estimadas: expresa la confiabilidad del mapa y es la sumatoria de los puntos correctamente asignados (**A1, A2 y A3**).

Total, de clases: es el número total de los puntos de muestreo que son evaluados en la matriz de confusión y que representa de la matriz el valor de M.

Total: Incluye los resultados de la clasificación y de referencia representan la sumatoria de los valores para cada una de las clases (**R, S, T, A, Y, Z**).

Ahora bien, es posible calcular distintas medidas a partir de la matriz de confusión tales como:

Medidas métricas para evaluar la exactitud a nivel de clases: Estas son un conjunto de medidas que permiten determinar la probabilidad de que una clase de referencia haya sido clasificada en el mapa y represente esa clase en la realidad.

En estas se encuentran de dos tipos, *la exactitud del usuario*, el cual es el valor correctamente clasificado de una clase respecto al total dado como dicha clase y *la exactitud del productor*, siendo este el porcentaje de elementos bien clasificados para cada una de las columnas, este indica en qué medida ha sido bien clasificada una clase dada, y se calculan así:

$$(1) \quad \textit{Exactitud del usuario} = \frac{\textit{Número de coincidencias}}{\textit{Total}}$$

$$(2) \quad \textit{Exactitud del productor} = \frac{\textit{Número de coincidencias}}{\textit{Total}}$$

Medidas de precisión: Se presentan dos errores a tener en cuenta para que la precisión de matriz sea la adecuada, se tiene el error de comisión, el cual indica la probabilidad de que el

usuario del mapa encuentre información incorrecta durante su uso y el error de omisión, el cual indica la medida en la cual el productor del mapa representa incorrectamente los datos del terreno, y se calculan de la siguiente forma.

$$(3) \quad \textit{Error de Comisión} = 1 - \textit{Exactitud del usuario}$$

$$(4) \quad \textit{Error de Omisión} = 1 - \textit{Exactitud del Productor}$$

Métrica para evaluar la precisión del mapa: También conocido como el índice de Kappa (k), es la proporción de coincidencias obtenidas en un producto cartográfico, es decir, el mapa, sustrayendo aquellos generados de forma fortuita, de acuerdo con el protocolo siendo:

$$(5) \quad Po = \frac{\textit{Número de aciertos}}{\textit{Número total de clases}}$$

$$(6) \quad Po = \frac{(A1+B2+C3)}{M}$$

$$(7) \quad Pe = (EP1 * EU1) + (EP2 * EU2) + (EP3 * EU3)$$

Dónde

Pe = Calculo generado desde la matriz de confusión.

EP= Exactitud del productor

EU= Exactitud del usuario

A la hora de interpretar el valor del índice de Kappa (k) es útil disponer de una escala como la siguiente

Coeficiente de Kappa (k)	Fuerza de concordancia
0.00	Pobre
0.01 - 0.20	Leve
0.21 - 0.40	Aceptable
0.41 - 0.60	Moderada
0.61 - 0.80	Considerable
0.81 - 1.00	Casi Perfecta

Figura 3. Valoración del coeficiente Kappa. (Landis & Koch. 1977). Obtenido de:
Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación

7. Hipótesis de investigación

El análisis multitemporal permite identificar y determinar el porcentaje de áreas cultivadas con cacao a través del tiempo en el municipio de San Vicente de Chucurí, el aumento en el total de áreas sembradas con cacao indica que hay un crecimiento económico en el municipio.

8. Metodología

El enfoque de esta investigación es mixto, pues combina características cuantitativas que permiten definir el cambio de las áreas sembradas en cacao, a su vez analizar características económicas de la producción del cultivo de cacao que se pueden definir de manera cualitativa.

8.1 Diseño metodológico

El estudio “Análisis multitemporal de las zonas cacaoteras y su crecimiento económico en el municipio de san Vicente de Chucuri Departamento de Santander”, por la modalidad corresponde a un estudio investigativo de naturaleza descriptiva ya que cuantifica las áreas cacaotera en el periodo 2010-2023 en la zona de estudio.

A continuación, se detalla cada una de las fases desarrolladas que permitieron alcanzar los objetivos planteados en el presente trabajo investigativo figura 4:

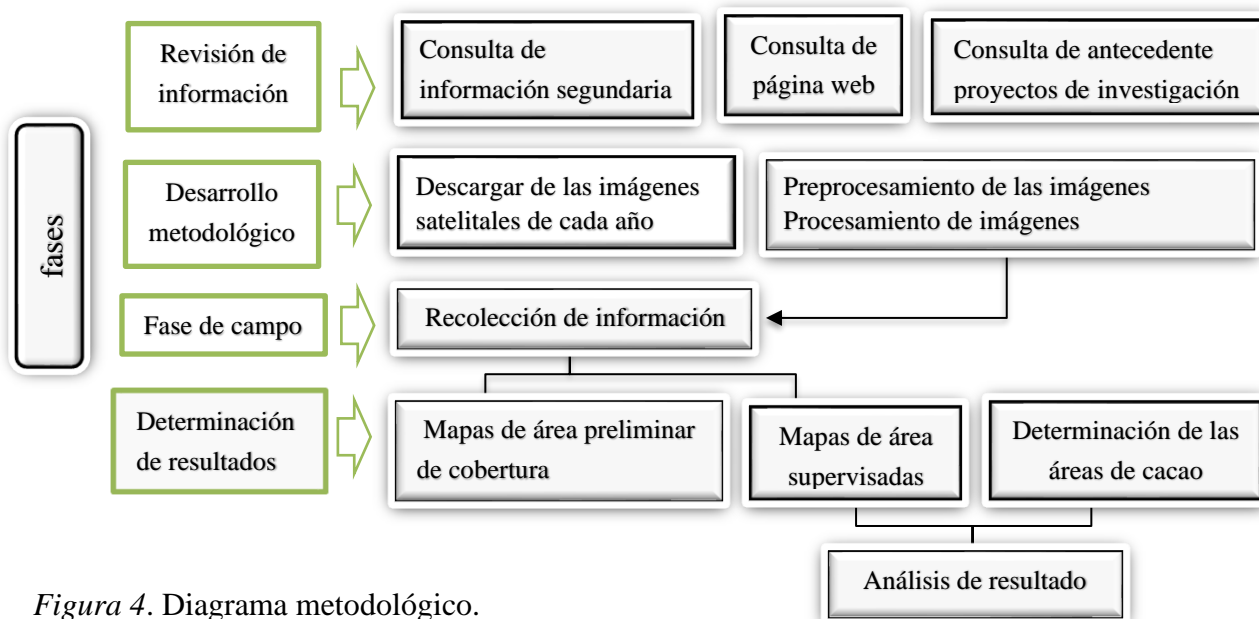


Figura 4. Diagrama metodológico.

8.2 Recopilación y preparación de información cartográfica

8.2.1 Caracterización de la cobertura terrestre utilizando sistemas de información geográfica

Para la estimación de las zonas cacaoteras del municipio San Vicente de Chucurí fue necesario recopilar la información cartográfica del mapa de cobertura y uso del suelo rural del proyecto “Apoyo técnico para la revisión excepcional de los planes y esquemas de ordenamiento territorial de los municipios localizados en la zona de embalse del proyecto hidroeléctrico Sogamoso”, como base de las unidades de cobertura adoptadas por la Leyenda Nacional de Coberturas de La Tierra, Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia a Escala 1:10.000, los cuales serán procesados en los software ArcGIS PRO y QGis.

8.2.2 Descarga y corrección de imágenes satelitales

La adquisición se realizó en el geovisor del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por su sigla en inglés) para las imágenes Landsat, las imágenes Sentinel-2, fueron capturadas del satélite Sentinel-2A y descargadas a través de la plataforma Copernicus Open Access Hub.

La fecha más conveniente para seleccionar la imagen está estrechamente relacionada con el tipo de fenómeno en estudio. lógicamente, el momento más idóneo de adquisición será aquel en que mejor se discrimine dicho fenómeno, frente a otros de similar comportamiento espectral. (Chuvieco,1995, p.137).

Las imágenes fueron descargadas de diferentes sensores debido al periodo establecido y la época seca del año para poder analizar el comportamiento del cultivo de cacao.

- Imagen del sensor TM- Landsat 5, fecha de adquisición 2010-01-22
- Imagen del sensor OLT+ IRS- Landsat 8, fecha de adquisición 2015-01-04
- Imagen del sensor (MSI) – Sentinel 2A, fecha de adquisición 2020-02-18
- Imagen del sensor (MSI) – Sentinel 2A, fecha de adquisición 2023-02-02

Las imágenes obtenidas para el análisis fueron corregidas desde números digitales (ND) a reflectancia utilizando el complemento de QGis: semi –Automatic classification plugin, misma que aplica la corrección atmosférica DOS-1(Dark Object Substraction); Según (Chávez, 1996). Este método de sustracción de objetos oscuros (DOS) admite que hay áreas en una imagen con valores demasiados bajos de reflectancia, cualquier reflectancia aparente es producto de la dispersión (scatering) atmosférica y esta información puede ser usada para calibrar el resto de la imagen.

8.2.3 Interpretación visual de las imágenes y determinación de las zonas cacaoteras

Después de corregidas las imágenes se procedió al análisis radiométrico y visual con el apoyo de la técnica de combinación de banda espectrales, la combinación de bandas análisis de vegetación fue de gran apoyo por permitir identificar la cobertura vegetal en los tonos verdes en especial el área de cultivos, de igual forma se realizó un análisis visual

comparativo de agrupación de tonos con la combinación falso color con su tonalidades en la gama de rojos para discriminar la cobertura vegetación.

Después de lo anterior se realizó la generación de mapas no supervisados mediante la herramienta Iso Cluster Unsupervised Classification (Spatial Analyst), en los ráster de clasificación no supervisada se identificó la cobertura dedicadas a cultivos, con el análisis de los mapas históricos de cobertura y usos de suelo de la zona de estudio, los cuales fueron útiles para asociar la ubicación de mosaicos de cultivo, cultivos permanentes arbustivos donde predomina la siembra de cacao; delimitadas la áreas cacaoteras se definieron los lugares de entrenamientos para la verificación en campo mediante la herramienta (CreateAccuracyAssessmentPoints - Spatial Analyst) la cual genero una serie de puntos en cada tipo de cobertura identificada, dicha información permitió elaborar la clasificación supervisada y posterior aplicación de la matriz de confusión para obtener el coeficiente de Kappa en la herramienta (Compute confusion matrix - Spatial Analyst) en las área de siembra del cacao en el municipio de san Vicente de Chucurí.

➤ En la fase de campo

Durante el trabajo de campo, se utilizaron herramientas digitales y equipos físicos, la aplicación Avenza Maps, desde el celular. Además, una tabla de campo para registrar datos manualmente, los datos fueron tomados en campo de la siguiente manera.

Para precisar las muestras se utilizó un equipo de posicionamiento global (GPS). Se visitaron los puntos de entrenamientos definidos en las imágenes de áreas interpretadas (ver anexos), los puntos recolectados en campo se compararon con los de la aplicación y el GPS en busca

de una mayor exactitud. Esta información es de gran utilidad porque permite generar el análisis de la información en campo y la del mapa supervisado para la posterior aplicación de la matriz de confusión.

Para el análisis multitemporal se realizó la sobreposición de capas de las zonas cacaoteras de los años 2010, 2015, 2020 y 2023 por medio del análisis de álgebra de mapas, para identificar la dinámica en cuanto al área total y su distribución espacial en el municipio. Esta actividad se realizó utilizando el programa ArcGIS PRO. Finalmente, la información en formato ráster se llevó al software Qgis para calcular el reporte de las áreas y los respectivos porcentajes dedicados a la siembra del grano, la secuencia de este procedimiento se puede observar en el planteamiento del modelo cartográfico en la figura 5.

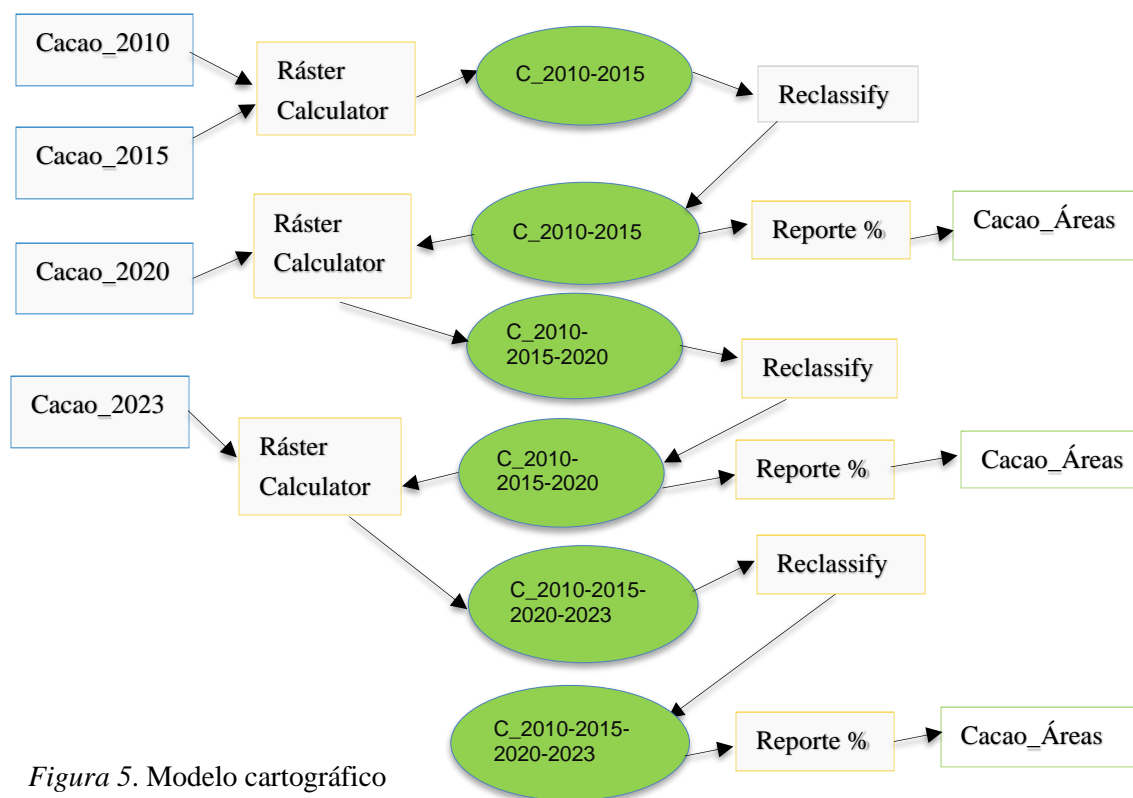


Figura 5. Modelo cartográfico

8.3 Análisis de crecimiento económico

Para obtener la información económica del municipio se revisó la información relacionada a las siguientes variables: Área total sembrada con cacao en el municipio de San Vicente de Chucurí en los años 2010, 2015, 2020 y 2023; producción total del grano de cacao en toneladas al año y/o toneladas por hectárea sembrada, 2010, 2015, 2020 y 2023; Rendimiento del cultivo para cada año y valor del grano de cacao en el mercado nacional en los años 2010, 2015, 2020 y 2023. Para determinar el área total sembrada con cacao se utilizaron los mapas generados para cada año; por otro lado, para cuantificar la producción de cacao y el rendimiento del cultivo se buscaron las estadísticas de producción agrícola en el departamento del Santander - Municipio San Vicente de Chucurí en la página del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, AGRONET y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). La información colectada fue procesada con el programa estadístico Sigmaplot versión 11.0 (SYSTAT Software Inc., California, USA) para obtener los parámetros estadísticos: medias, porcentajes y totales, los cuales se utilizaron para realizar gráficos y cuadros comparativos que ayudaron en el análisis y la discusión de resultados.

9. Resultados

9.1 Áreas cultivadas con cacao en el municipio de San Vicente de Chucurí, Santander

Los ND de las imágenes se transformaron a valores de reflectancia TOA para obtener una mejora radiométrica eliminando en gran medida los efectos atmosféricos presentes en las imágenes, en el proceso de combinación de bandas espectrales técnica de análisis visual que permitió la identificación de diferentes tipos de cobertura a través de sus características espectrales y agrupaciones de tonalidades como se puede apreciar en las combinaciones, de las imágenes Landsat LT04 2010, LC08 2015, Sentinel 2A 2020 y 2023 figura 6.

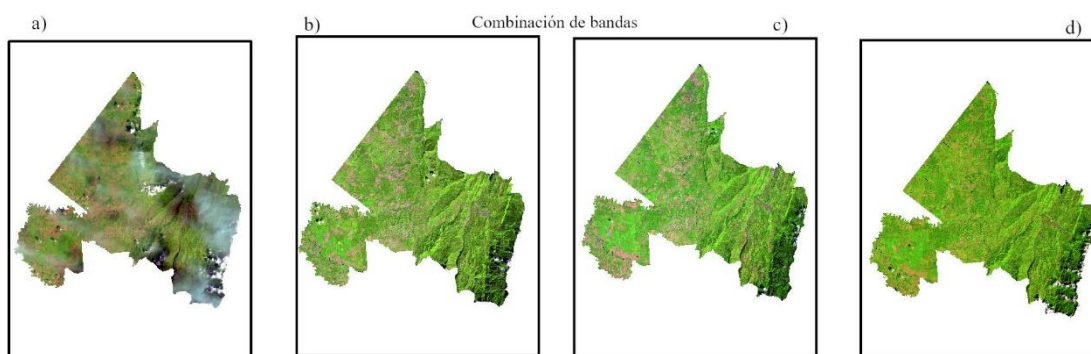


Figura 6. Combinaciones de banda análisis de vegetación, a) Landsat LT05- 2010, b) Landsat LC08 2015, c) Sentiel-2A 2020 y d) Sentiel-2A 2023.

Se identificaron 3 microrregiones en el municipio en efecto del uso del suelo y cobertura de la tierra, en cual se encuentran varios tipos de coberturas, que van desde: Bosque natural, bosque primario intervenido, bosque secundario, potreros y rastrojos, bosques de galería, sistemas agroforestales (palma, Cacao, frutales y café con sombrío): Una primera microrregión localizada desde los límites orientales del municipio, hasta el área del casco urbano. En esta zona, se ubica el área con mayor nivel de protección, comprendiendo el área

protegida del parque Yariguíes. La actividad agrícola predominante es la economía campesina, la mayor parte de los cultivos de café. Una segunda microrregión comprende el área de influencia del casco urbano y el límite occidental del parque nacional natural Yariguíes. En esta zona predomina la producción agroforestal, caracterizada principalmente por el cultivo de cacao. La tercera microrregión se ubica entre el margen occidental del límite del municipio y mediaciones del casco urbano, cubriendo las zonas planas, donde predomina por la producción ganadera (pastos enmalezado y rastrojos) y cultivo de palma, estas coberturas se discriminan en la figura 7.

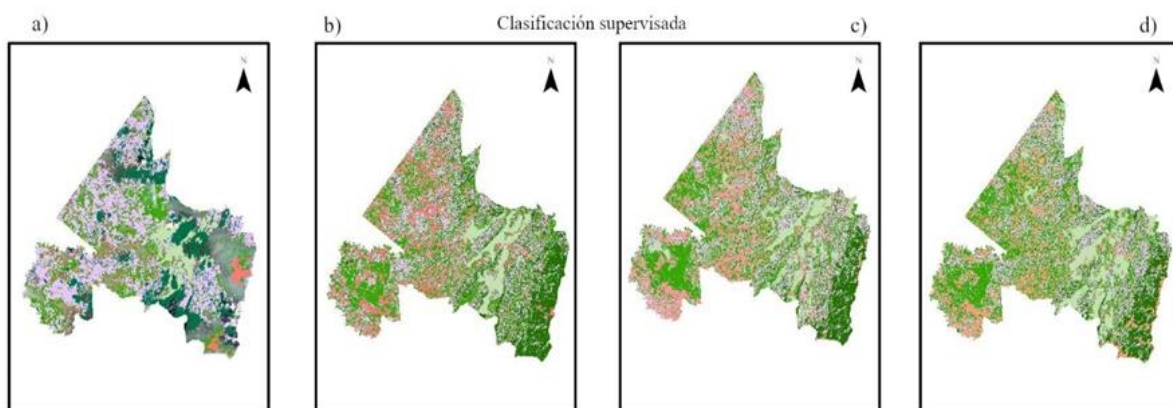
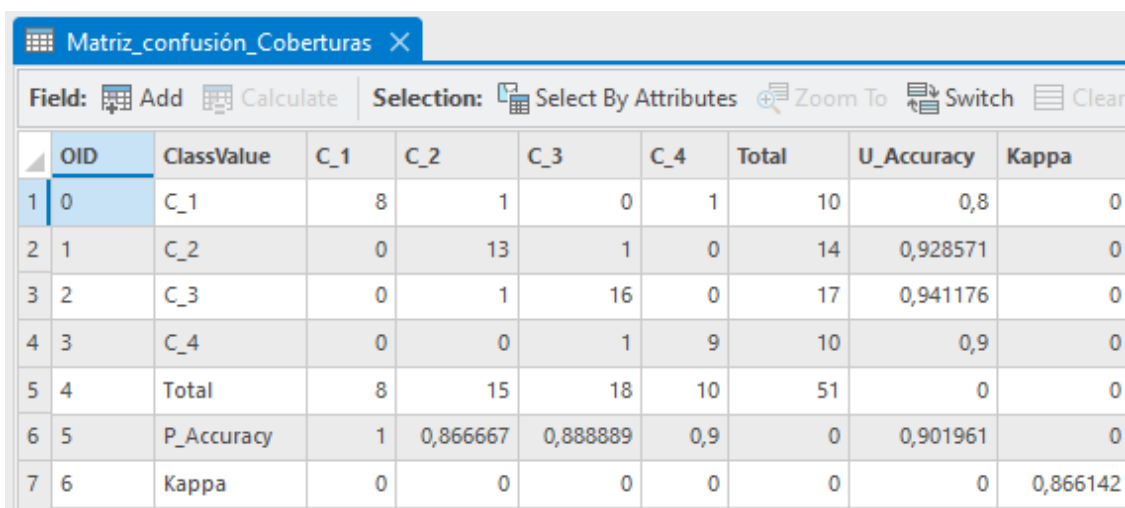


Figura 7. Clasificación de las coberturas, a) año 2010, b) año 2015, c) año 2020 y d) año 2023.

En la figura anterior se observan diferentes tonalidades en la extensión del municipio correspondiente a la variación espacial de las coberturas, los tonos verde oscuros se identifican como áreas boscosas mencionada en la primera microrregión, los verdes más claros se asocian a mosaico de cultivos y cultivos permanentes arbustivos que comprende gran parte la segunda microrregión donde el principal cultivo es el cacao, de igual manera en la tercera microrregión con el cultivo de palma, la unidad de representa con el color lila

está asociado mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales los cuales conforma la tercera microrregión identificada según la distribución espacial de la cobertura. Esta microrregión también presenta un aspecto importante por resaltar que es son áreas más planas con diferencia a la primera y segunda, las cuales está controlada por un relieve estructura y pendientes más inclinadas.

El área dedicada al cultivo de cacao fue delimitada con la verificación en campo y el resultado del coeficiente de Kappa presento una fuerza de consistencia 0.86, indicado una alta coincidencia de las coberturas identificas en las imágenes con la realidad, lo que se puede interpretar como casi perfectas las coberturas ver figura 8.

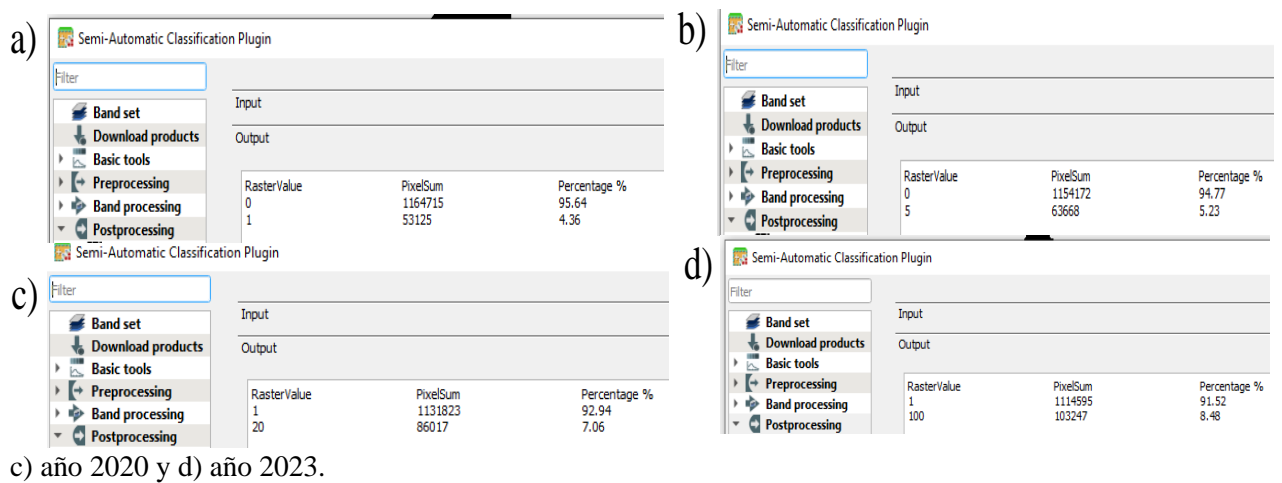


OID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	Total	U_Accuracy	Kappa
1	0	8	1	0	1	10	0,8	0
2	1	0	13	1	0	14	0,928571	0
3	2	0	1	16	0	17	0,941176	0
4	3	0	0	1	9	10	0,9	0
5	4	8	15	18	10	51	0	0
6	5	1	0,866667	0,888889	0,9	0	0,901961	0
7	6	0	0	0	0	0	0	0,866142

Figura 8. Matrix de confusión de validación de coberturas

Nota: Captura del reporte del software ArcGIS PRO: C1 Bosque, C2 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, C3 Cultivos permanentes arbustivos, C4 Pastos limpios.

Después de la validación de las áreas se procedió a realizar el reporte de la clasificación para conocer el porcentaje que representa el cultivo del cacao en municipio, para el 2010 el área cultiva abarcaba el 4.36 % del área total del municipio para el 2015 se situó en 5,23 %, en el 2020 incrementó a 7,06 % de área y en 2023 se ubicó en 8.48% de la cobertura total de municipio figura 9. *Figura 9.* Reporte de clasificación de las coberturas, a) año 2010, b) año 2015,



La distribución espacial de las áreas cultivas en cacao se puede observar en la figura 10.

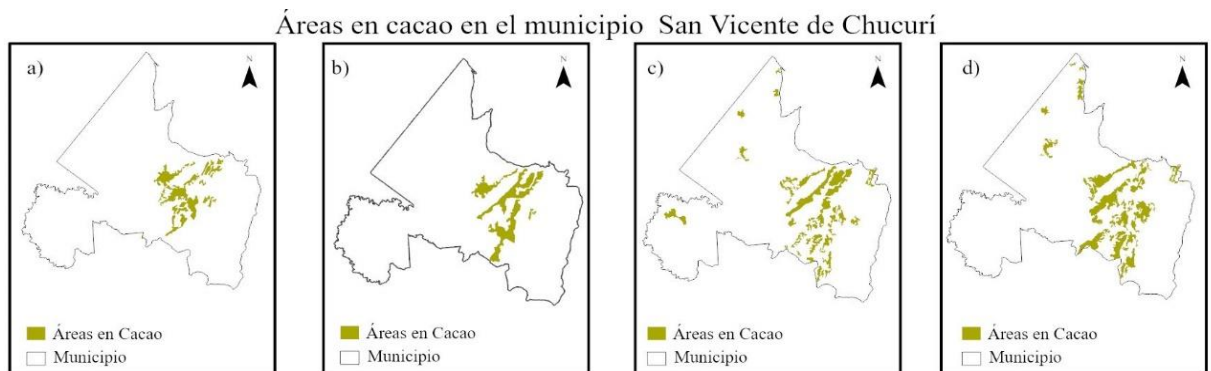


Figura 10. Área en cacao; a) año 2010, b) año 2015; c) año 2020 y d) año 2023.

De lo anterior se puede interpretar que las áreas dedicadas a cacao presentan el mayor crecimiento después del 2015 (figura 11), de igual forman se evidencia ese comportamiento

del cultivo en el periodo de 2010 a 2023 presenta una tendencia al alza en respecto las áreas sembradas lo que permite una correlación directamente con la producción de toneladas del grano.

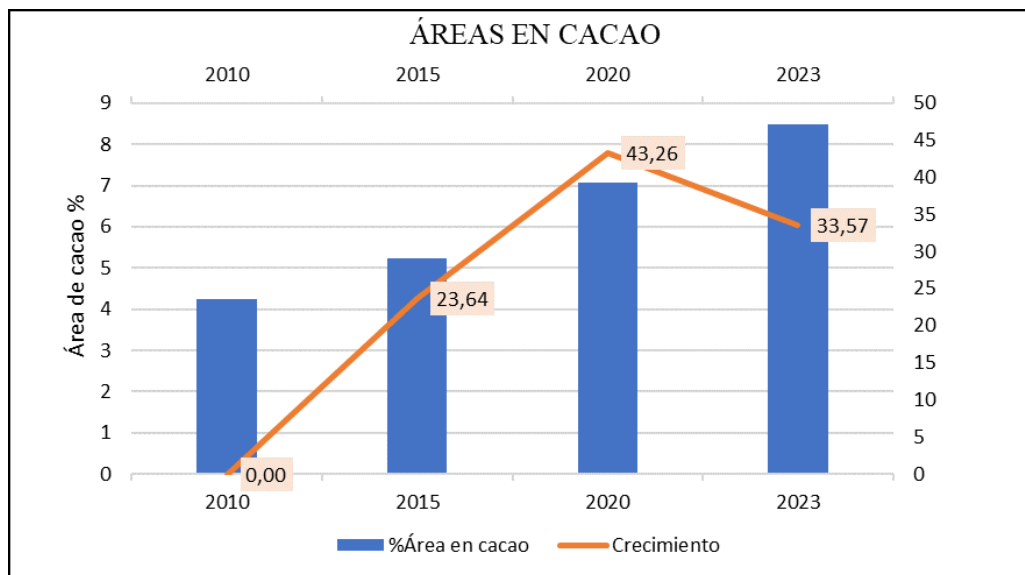


Figura 11. Crecimiento del área de siembra de cacao el en municipio San Vicente de Chucurí

1.1. Análisis multitemporal de la cobertura de los suelos cultivado con cacao en los años 2010 - 2023

El municipio cuenta con una extensión de 111.647,38 ha, de las cuales por lo menos 28.062 se han cultivado con cacao en el periodo de 2010-2023, por lo tanto, el 10.4 % de su territorio se ha dedicado a la comercialización del grano.

En la tabla 3, se representa el comportamiento o la dinámica que ha tenido el cultivo de cacao en san Vicente de Chucurí. El comportamiento del valor del grano también tiene una relación directa con la zona cultivada, en épocas donde el valor del grano cae, la zona cambia

a otro uso del suelo, de igual forma algunos cultivadores mantiene sus cultivos superando muchas veces la crisis de valor del grano.

Tabla 3. Dinámica de las áreas cultivadas de Cacao

Comportamiento espacio temporal del cultivo de cacao 2010-2023				
Años	Zonas cultivadas (%)	Zonas no cultivadas (%)	Zonas cultivadas nuevas (%)	Comportamiento total del cacao (%)
2010	4,23	NA	NA	4,23
2015	2,77	1,59	2,46	6,82
2020	3,49	3,34	3,57	10,40
2023	3,49	4,39	2,46	10,34

De los datos registrados en la tabla 3 podemos ver información significativa de como el porcentaje de áreas nuevas en el 2020 (3.57%) se mantiene para el 2023, sin embargo, gran parte del área se desplaza a otras ubicaciones en el municipio al llegar a 2.46 %.

9.3 Análisis del impacto económico del cambio de áreas cultivadas en cacao a través del tiempo.

El cacao reúne varias características que lo convierten en un cultivo con gran impacto desde el punto de vista económico y productivo para el país. En el municipio de San Vicente de Chucurí en Santander se presentó para el año 2010 una producción de 5350 toneladas a partir de 12778 hectáreas sembradas y 10700 hectáreas cosechadas, lo que llevó a un rendimiento de 0,50 Ton/ha (Figura 12). En el año 2015, se observó una leve disminución en la producción de cacao al alcanzar 5256 toneladas, 94 toneladas menos en 11870 hectáreas sembradas y 10512 cosechadas (Figura 12). El rendimiento fue de 0,50 Ton/ha. Para el año 2020, la producción llegó a 7620 toneladas, aumentando en un 45% con respecto al año

2015, con 16596 hectáreas sembradas de cacao y 14942 hectáreas cosechadas (Figura 12), Al 2023, la producción fue de 10122 toneladas y el incremento con respecto al año 2020 fue del 33%. El área sembrada y cosechada fue de 16870 hectáreas (Figura 12) y el rendimiento de 0,61 Ton/ha.

Con respecto al precio del cacao (precio \$/kg), el promedio pagado al productor en el año 2010 fue de \$5276 pesos por kilo, para el año 2015 el precio promedio pagado fue de \$7073 por kilogramo y frente al precio del 2010 el incremento fue del 36%. En el año 2020 el precio del cacao alcanzó un promedio de \$8077 por kilogramo, lo que significó un crecimiento del 14% con respecto al año 2015.

En el 2023 el kilogramo de cacao se pagó en promedio a \$12166, lo que representó un incremento de 51% frente al precio del año 2020. En la figura 13 se puede observar la fluctuación en el precio del cacao de enero a diciembre para los años 2010, 2015, 2020 y 2023. Se observa que, para el segundo semestre del año 2020, en los meses de julio, noviembre y diciembre se da una caída en el precio del grano. Para el año 2023, aumentó el número de hectáreas cosechadas y cultivadas y consecuentemente aumentó la producción del grano (Figura 12), así mismo, el precio del grano se dio al alza, principalmente para los meses de noviembre y diciembre (Figura 13).

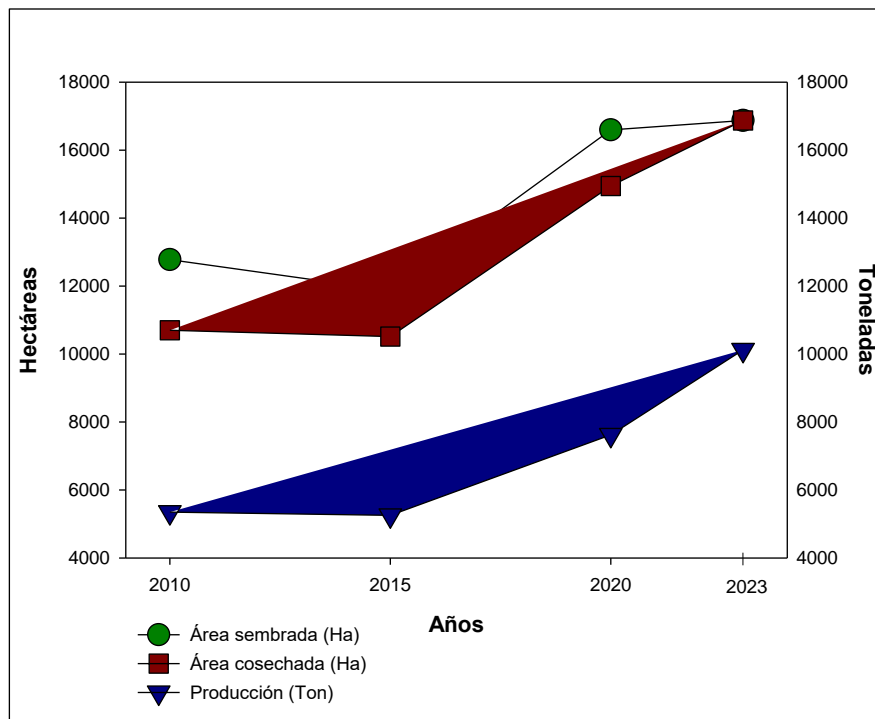


Figura 12. Área sembrada, cosechada y producción de cacao en el municipio de San Vicente Chucurí, para los años de 2010, 2015, 2020 y 2023.

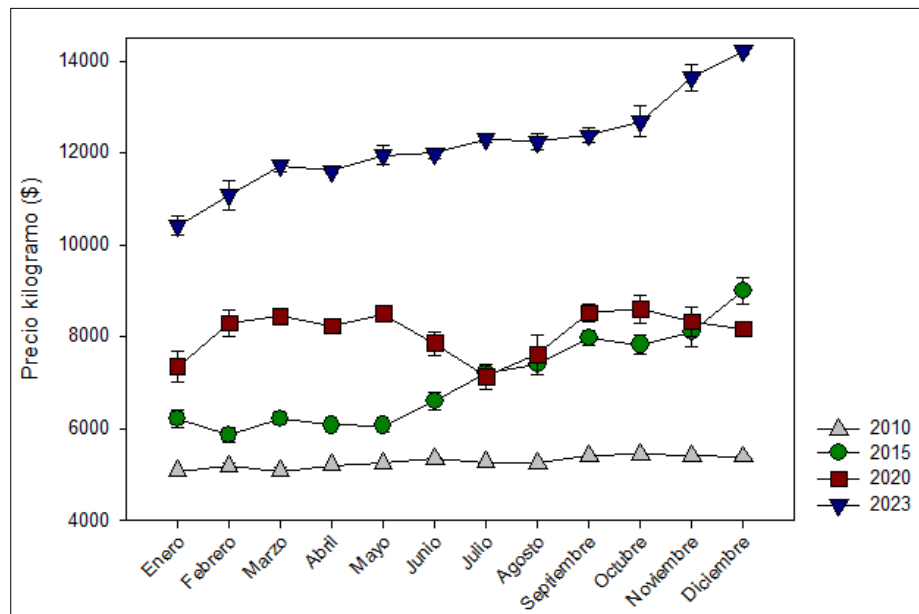


Figura 13. Fluctuación de los precios del grano de cacao por kilogramo durante los años 2010, 2015, 2020 y 2023.

10. Análisis y discusión

Los resultados muestran que el 8,48 % del área de estudio presentó suelos con presencia del cultivo de cacao en el año 2023, para 2010 el área fue de 4,23% un área menor, en el 2015 fue de 5,23% y en el 2020 de 7.06%, es decir, se ha ido observando un aumento en las áreas cultivadas; lo anterior, según el Plan de Desarrollo Municipal del 2012 – 2015 los cacaocultores enfrentaron una crisis por la baja del precio del grano lo que frenó la expansión de siembra 2011.

La dinámica espacio temporal del cacao en los resultados desde 2010 a 2023, muestran que el área cultivada se mantiene desde 2010 al 2023 pasando de 4.23% a 3,49%, las zonas que cambiaron de uso del suelo dejando la producción del cacao son alrededor del 4 % y a la vez son remplazada por nuevas siembras del cultivo para el 2020 (3,5 %) y 2023 (2,46%). La dinámica de las áreas cacaoteras fue identificada como microrregión segunda, la cual se ubica en las mediaciones con el casco urbano y los límites orientales de parque natural, como se observa en la figura 12. También se observa el área cultivada, áreas no cultivadas y la nueva siembra del grano.

Es la zona del municipio donde predomina el cacao la que cumple una función de doble propósito para los sistemas agroforestales en la región, ya que contribuye a la economía con la venta del grano y a la vez presta servicios ambientales que ofrecen los árboles. Estos resultados son similares a lo hallado por otros investigadores, que han realizado trabajos en cultivos de cacao en Tabasco, México. Salvador et al. (2019), señala que los sistemas

agroforestales combinan la actividad forestal con la agricultura o la ganadería, con la finalidad de producir alimentos, sin renunciar a los servicios ambientales.

Con respecto al impacto económico, según FEDECACAO (2024), entre el periodo del 2015 a 2020 el municipio alcanzó un total de 1966 productores registrados, distribuidos en 1274 hombres y 692 mujeres, con un promedio de edad de 60 años representando el 70,43% de los cacaocultores registrados. El rendimiento promedio del cultivo de cacao en San Vicente de Chucurí fue de 497 kg/ha/año.

El incremento en el área de cultivo de cacao sembrado y cosechado reportado a partir del 2015 coincide con el incremento exponencial en áreas cultivadas de cacao observadas en la figura 10 y que incrementó de 5,23% en el 2015 a 7,06% en el 2020 y 8,48% en el 2023 (Figura 11). No obstante, se observó una caída en el precio del grano de cacao en el segundo semestre del año 2020, en el mes de julio y diciembre, que no afectó el área sembrada del cultivo en el municipio, como se observó en la dinámica de las áreas cultivadas de cacao (Tabla 3).

Es importante tener en cuenta que en la mayoría de las fincas cacaoteras de San Vicente de Chucurí, se utilizan medios poco tecnificados para las actividades de siembra, mantenimiento del cultivo y cosecha, todo eso, con inversiones mínimas o nulas de recursos económicos para el mejoramiento del cultivo en el tiempo, como consecuencia se obtiene baja productividad y un grano deficiente e inadecuado para exportación (MADR, 2020).

Dinámica de las áreas en cacao en el municipio San Vicente de Chucurí

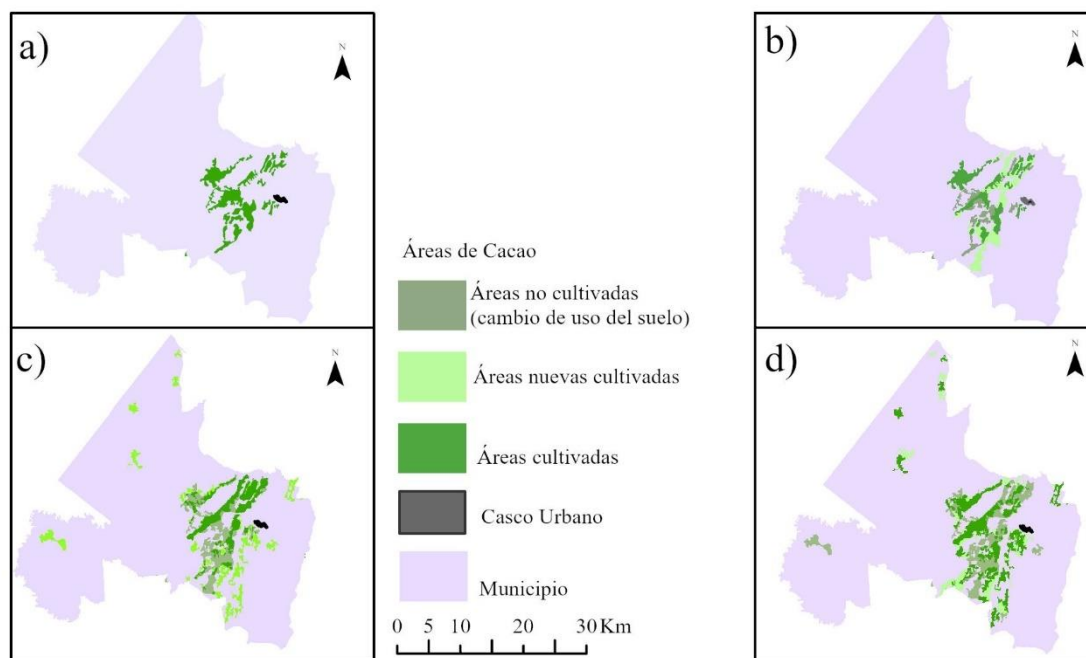


Figura 14. Dinámica de cultivo de cacao; a) año 2010, b) año 2015; c) año 2020 y d) año 2023.

Los resultados también evidencian el crecimiento exponencial del área sembrada con cacao después del 2015, de 5,2 % a 7,06 % en el 2020. Este resultado se acuña al alza del precio y el aumento de las exportaciones. Investigaciones recientes señalan que el cultivo del cacao ha adquirido gran importancia para Colombia, debido al incremento de las áreas cultivadas y al compromiso con su exportación por parte del Gobierno nacional. Sandoval et al. (2020). Determinar el porcentaje de área cultivada de cacao en el municipio de San Vicente de Chucurí, puede aportar en la medición de la productividad del cultivo a través del tiempo, con el fin de implementar mejoras en el manejo agronómico del cultivo; permite medir el impacto del cacao en la economía local por medio de la generación de empleo, y ya que se

tiene el registro y estadísticas de los cultivadores de cacao, esto permite establecer el ingreso económico de los agricultores. En el mismo contexto López et al, sostiene que el cultivo de cacao en un sistema de medidas o plan de desarrollo que garantice el desarrollo rural, la protección del medio ambiente contra la deforestación reforestación para que las zonas afectadas logren su equilibrio natural, social y económico.

11. Conclusión

Los sistemas productivos como el cultivo de cacao tienen gran importancia en regiones con potencial biofísico como es la región de Santander en Colombia, que al disponer de una alta variabilidad edafoclimática permite la asociación de diferentes cultivos, como el café, frutales y cultivos transitorios, en las áreas dedicadas al cacao se puede apreciar los mosaicos de cultivos con espacios naturales.

La implementación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la evaluación y gestión de los sistemas agrícolas ha venido en aumento en los últimos años dada la enorme capacidad de integrar múltiples variables y temáticas sobre un entorno geográfico. De igual manera las técnicas de interpretación, procesamiento de imágenes satelitales son un recurso valioso en la investigación por la veracidad y confiabilidad de las imágenes para generar información de grandes áreas, disminuyendo los costos para la realización de estudios como el caso de identificación de diferentes coberturas, al respecto conviene decir que la implantación de la metodología del estudio se tuvo respalda mediante tecnología información geografía, en gran medida software GIS, por lo tanto, se puede recomendar las técnicas de Spatial Analyst Tools.

En el estudio se aplicó el análisis multitemporal que permitió identificar y determinar la dinámica de áreas cultivadas en cacao a través del tiempo en el municipio, así mismo el aumento de áreas sembradas indica que hay un crecimiento económico en el municipio.

El cultivo del cacao en San Vicente Chucurí corresponde a un tipo de explotación de economía campesina, se desarrolla sobre todo en la mediana y pequeña propiedad, Si se estudia la evolución de la producción del cultivo de cacao en el municipio, se evidencia una fase de crecimiento, antes del periodo 2010- 2015, registrándose la mayor área para el 2010,

a partir del 2011 este año comienza a decrecer la siembra, hasta ubicarse en el 2015 con aumento significativo y consecutivo hasta el 2023.

12. Referencias bibliográficas

- Acosta, W.J. & Casallas, E.N. (2019). Evaluación del cambio de coberturas de la tierra y efecto de la expansión de la palma de aceite en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta. Tesis de Especialización Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C.
- AGRONET. (2024). Precio de referencia semanal de compra de cacao - Fuente Industria - FEDECACAO - Exportadores. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Precio-de-referencia-semanal-de-compra-de-cacao---Fuente-Industria.aspx>
- Alcaldía San Vicente de Chucuri, (2020) Plan de Desarrollo San Vicente Avanza con Equidad 2020-2023. Recuperado de: <http://www.sanvicentede-chucuri-santander.gov.co/planes/plan-de-desarrollo-san-vicente-tiene-futuro>
- Arévalo, M.Y., & Méndez, D.C. (2011). Análisis multitemporal de las zonas cafetaleras de el salvador y su impacto en el desarrollo socioeconómico. Tesis de Pregrado, Universidad del Salvador.
- Arguello, O., Mejía, L.A., Contreras, N., & Tolosa, J. (1999). Árboles élite de cacao como estrategia de productividad para el Nororiente colombiano. Corporica-Plan Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Ariza Alexander (2013) Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM <https://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>
- Arvelo, M.A., González, D., Maroto, S., Delgado, T & Montoya, P. (2017). Manual técnico del cultivo de cacao: prácticas latinoamericanas / Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. – San José, C.R.: IICA.
- Atencia, V.A., Contreras, J.J., & Vergara, M.D. (2008). Estudio multitemporal de imágenes satelitales con fines de delimitación del complejo bajo San Jorge izquierdo y diagnóstico de zonas intervenidas antrópicamente. Tesis de pregrado, Universidad de Sucre. Sincelejo.
- Bastidas, E.& Naranjo, L.T. (2020). Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal y su efecto en los caudales máximos para la cuenca del río guaguí en el municipio de barbacoas, Nariño. Tesis de Especialización, Universidad Católica de Colombia. Bogotá, D.C.

- Bravo Morales Nino Frank (2017) Teoría – Teledetección espacial Landsat, Sentinel-2, Aster L1t Y Modis. Primera edición.
- Carvajal, M.J. (2019). Distribución del contenido de cadmio en el suelo en fincas productoras de cacao de San Vicente de Chucuri, Dpto. de Santander.
- Chaparro, H.Y. (2018). Análisis multitemporal de cambios en la cobertura vegetal de Paz de Ariporo, Casanare mediante el uso de sistemas de información geográfica. Tesis de Pregrado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Sogamoso.
- Chavarro Reyes, C.A. (2020). Estrategia financiera y organizacional para la agro industrialización del cacao como alternativa desarrollo del municipio San Vicente de Chucuri.
- Correa, J.A. (2018). Análisis multitemporal de coberturas y usos del suelo: transformaciones ambientales a través del tiempo en armenia, Quindío. Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira.
- Córdova-Ávalos, V. (2001). Factores que afectan la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el ejido Francisco I. Madero del Plan Chontalpa, Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 17(34), 92-100.
- de la Cruz, J. M., & Muñoz, J.A. (2016). Análisis multitemporal de la cobertura vegetal y cambio de uso del suelo del área de influencia del programa de reforestación de la Federación Nacional de Cafeteros en el municipio de Popayán, Cauca. Tesis de Especialización, Universidad de Manizales. Manizales, Colombia.
- ESRI. (25 de agosto de 2018). ArcGIS 10.6 for Desktop. Recuperado de: <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop>.
- Fao (2018). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/007/y5143s/y5143s00.htm#Contents>.
- Federación Nacional de Cacaotero. (2022). Así se comportó la producción de cacao por departamentos en el 2020. Recuperado de: <https://www.fedecacao.com.co/post/copy-of-design-a-stunning-blog>
- Fernández., I., Herrero., E. 2001. El Satélite Landsat. Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ Satélite Landsat. Universidad de Valladolid

Landsat 8. (s. f.). <https://web.archive.org/web/20160308081454/http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>

- Flores-Delgado, D.F., & Fernández-García, D.K. (2017). Los sistemas de información geográfica. Una revisión. *Fagropec*, 9(1), 11-16.
- Fonseca, J.J., & Gomez, S.M. (2013). Análisis multitemporal mediante imágenes landsat caso de estudio: Cambio de área laderas de la ciénaga de tumaradó parque natural Los Katíos. Tesis de Especialización, Universidad Militar de Nueva Granada. Bogotá D.C.
- González, L.H., & Romero, A.P. (2013). Análisis multitemporal de los cambios de la cobertura de la tierra e incidencia del cultivo de palma en el territorio del municipio de Villanueva Casanare. Tesis de maestría, Universidad Pontificia Bolivariana. Bogotá D. C.
- Grupo Gis. (2018). Estándares básicos para manejo de información geográfica de la Alcaldía de Medellín. Departamento Administrativo de Planeación y Evaluación Estratégica. Medellín, Colombia.
- Gutiérrez, V. & Cárdenas, K. (2020). Análisis multitemporal del sector agrícola en el municipio del Espinal-Tolima. Tesis de Pregrado, Universidad de Cundinamarca.
- Girardot.Hidalgo, O.T., Julca, A., Borjas, R., Rodríguez-Quispe, P. & Santistevan-Méndez, M. (2014). Tipología de fincas cacaoteras en la subcuenca media del río Huayabamba, distrito de Huicungo (San Martín, Perú). *Ecología Aplicada*, 13(2).
- IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra*. Bogotá D.C., Colombia: Editorial Scripto Ltda.
- Instituto de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. (2006). Los sistemas de información geográfica. *Geoenseñanza*, 11(1), 107-116.
- Jaimes, Y., & Aranzazu, F. (2010). Manejo de las enfermedades del cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia, con énfasis en monilia (*Moniliophthora roreri*). Bogotá, Colombia. Corpoica.
- López Cuadra, Y. M., Cunias Rodríguez, M. Y., & Carrasco Vega, Y. L. (2020). El cacao peruano y su impacto en la economía nacional. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(3), 344-352.

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). Estrategia de ordenamiento de la producción cadena productiva del cacao y su industria. Recuperado de: <https://sioc.minagricultura.gov.co/DocumentosContexto/S4128-Plan%20OP%20Cacao%202020.pdf>
- Ministerio de Educación Nacional. SI-GEO, Sistemas de Información Geográfica. Recuperado de: <https://www.mineducacion.gov.co/1621/article-190610.html>. Acceso: 04/08/2022
- Mojica, A. & Paredes, J. (2006). Características del cultivo del cacao en Santander. Ensayo sobre economía regional. Bucaramanga, 38 pp.
- Oliveros, D., Pérez, S. (2013). Medición de la competitividad de los productores de cacao en una región de Santander–Colombia. Revista Le Bret, (5), 243-267. Tesis de Especialización, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C.
- Orozco, D.L., & Valbuena, A.P. (2016). Análisis multitemporal mediante imágenes de sensores remotos de la explotación a cielo abierto en la mina el Cerrejón municipios de Barrancas y Albania departamento de La Guajira. Tesis de Pregrado, Universidad Pedagógica de Colombia. Sogamoso.
- Padilla, T.E., & Salazar, L.F. Análisis multitemporal del cambio en las coberturas de la tierra por cultivos para agrocombustibles y sus posibles efectos en la biodiversidad en un transecto del norte de la región natural andina y del caribe colombiano. Tesis de Pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C.
- Prada, J.L., Manrique, L.C., & Santos, J.X. (2015). Análisis de costos de producción agrícola de cacao en función de los precios de mercado, la productividad del cultivo, el beneficio económico y la rentabilidad. Tesis de Pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia. Bogotá D.C.
- Rebollo, M.E. (2013). Estudio multitemporal para la determinación de cambios en el uso del suelo en el complejo de páramos Tota - Bijagual - Mamapacha para el periodo 1992 – 2012.
- Rodríguez, H.A., & Vargas, D.A. (2019). Análisis de rentabilidad del cultivo de cacao caso de estudio: Vereda: Cualamaná Melgar (Tolima) y Vereda: Llana fría San Vicente de Chucuri (Santander).

- Rodríguez, O. (2020). Plan de Desarrollo San Vicente Avanza con Equidad (2020-2023). Recuperado de: https://sanvicentede-chucurisantander.micolombiadigital.gov.co/sites/sanvicentede-chucurisantander/content/files/000716/35784_pdm-san-vicente-avanza-con-equidad.pdf
- Rojas, J.C., & Castiblanco-Rozo, C. (2018). Variabilidad espacial y análisis multitemporal sobre los cambios en las coberturas de la tierra ocasionados por la expansión del cultivo de la palma de aceite en los años 1985, 2000 y 2016 en el municipio de San Carlos de Guaroa (Colombia). *Gestión y Ambiente*, 21(1), 59-68.
- Salvador-Morales, P., Cámara-Cabrales, L. D. C., Martínez-Sánchez, J. L., Sánchez-Hernandez, R., & Valdés-Velarde, E. (2019). Diversidad, estructura y carbono de la vegetación arbórea en sistemas agroforestales de cacao. *Madera y bosques*, 25(1).
- Sandoval, E. Y. A., Merchán, P. J. A., Rodriguez, A. F. B., Díaz, E. P., & Serrano-Cely, P. A. (2020). Estado actual de la cacaocultura: una revisión de sus principales limitantes. *Revista Ciencia y agricultura*, 17(2), 1-11.
- Sibanda, Mbulisi, Onesimo Mutanga, & Mathieu Rouget. (2015). "Examining the Potential of Sentinel-2 MSI Spectral Resolution in Quantifying above Ground Biomass across Different Fertilizer Treatments." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 110: 55–65.
- Silva, A.B. (2010). Efeitos da inoculação de bactérias endófitas em cacau: promoção de crescimento e aumento da resistência à podridão-parda. Dissertação de Mestrado, Universidades Estadual de Santa Cruz.
- Vela, A.L. & Rodríguez, D.A. (2016). Estudio multitemporal del cultivo de caña de azúcar en el municipio de Palmira de acuerdo al plan de ordenamiento territorial 2001-2014. Trabajo de Especialización, Universidad Santo Tomas. Bogotá, D.C.
- Villarreal, D.E. (2021). Análisis de la transformación digital en la producción de Cacao en el Municipio de San Vicente de Chucurí, Santander: un enfoque desde Green Project Management. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

13. A NEXOS

Anexo 1. Visita de campo verificación de la aplicación y GPS para iniciar el recorrido



Anexo 2. Visita de campo tomada de coordenadas en el área del cultivo



Anexo 3. Visita de campo tomada de coordenadas en el área del cultivo cacao con espacios naturales



Anexo 4. Visita de campo tomada de coordenadas, identificación el cultivo cacao con espacios naturales y otras especies vegetales



Anexo 5. Visita de campo tomada de coordenadas, identificación el cultivo de cacao en diferente zona cacaoteras del municipio de San Vicente de chucuri

