

**Métodos de pronóstico de cosecha para el cultivo del café *Coffea arábica* l. en Colombia.
Una revisión bibliográfica**

Carlos Andrés Martínez Moreno

Trabajo de grado

Requisito parcial para optar por el título de agrónomo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente - ECAPMA

Bogotá

Programa de Agronomía

2022

**Métodos de pronóstico de cosecha para el cultivo del café *Coffea arabica* l. en Colombia.
Una revisión bibliográfica**

Carlos Andrés Martínez Moreno

Requisito para optar por el título de Agrónomo

Alexander Galindo Alvarado

Director:

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente - ECAPMA

Bogotá

Programa de Agronomía

2022

Dedicatoria

A mi Madre Bertha por su apoyo incondicional, quien a lo largo de estos años ha estado presente en los buenos y malos tiempos, siempre generosa, de temple fuerte y agitado, a mis hermanos quienes me han acompañado en este proceso brindándome su apoyo, y motivación.

A mi segunda Madre que, aunque este en el cielo siempre la recuerdo con nostalgia y agradecimiento por todo su cariño y paciencia para conmigo, a mi abuelo por sus enseñanzas para la vida y el trabajo, a mi tercera Madre, que, aunque se encuentre lejos la recuerdo con mucho afecto, y gratitud, para Lore por su sabiduría y motivación, por enseñarme a observar la vida de otra forma y amar lo que se hace y lo que se construye, cuyas palabras llevo en mi alma, a todas ellas grandes mujeres que admiro y quiero.

Además, me gustaría dedicarles este trabajo a los productores de Colombia a todos los campesinos, a la tierra, al agua, al sol, la luna, el viento a la naturaleza entera a la pacha mama, a la mama grande que nos ha dado la vida y nos acobia en este espectacular hogar.

Agradecimientos

Agradezco enormemente a mi asesor de tesis, el profesor: Alexander Galindo por su colaboración a lo largo de este proceso académico, y al profesor Jorge Girón, mentores en mi formación profesional y en la vida, a ellos gracias por su apoyo profesional e impulso para culminar este proceso.

Expreso agradecimiento a mis amigos y compañeros del semillero Tarpuy SumaQamaña, por compartir sus aprendizajes y experiencia, a la universidad UNAD por esta oportunidad en mi formación.

Mis más sinceros agradecimientos para los dioses, a la madre de todos que me han guiado y cuidado a lo largo del camino, y a todos los campesinos de Colombia los héroes de este país, cuyas manos fabrican vida y hombros fuertes sostienen la base de la nación y a cada persona que participo directa e indirectamente en la elaboración de este proyecto.

Resumen

La caficultura es un pilar fundamental de la economía agrícola nacional, labor que depende del trabajo de cientos de pequeños productores que en su mayoría son quienes aportan la mayor cantidad de producción de café en el país, sin embargo, para estas pequeñas áreas de cultivo, el acceso a tecnologías con el objetivo de aumentar la productividad y rendimiento de los cultivos no ha sido efectivo por diversas situaciones de origen social, ambiental o político.

La transferencia de tecnología ha sido lenta, y se ha limitado la incorporación de técnicas de manejo para aumentar la productividad, tal es el caso del uso de los pronósticos de cosecha, que tiene como objetivo realizar una estimación aproximada del volumen productivo del cafetal o de una cosecha en particular, este es un método que facilita la toma de decisiones, el manejo de los recursos y la gestión general de actividad cafetera.

Existen diversos métodos para realizar una estimación de la cosecha, de los cuales se tomaron los más representativos en el país, y algunos de los más utilizados a nivel internacional con el fin de describir y analizar su funcionalidad, este trabajo tiene como objetivo realizar una comparación de los diferentes métodos de pronóstico de cosecha para el café.

Palabras Clave: Pronostico, Cosecha, Estimación, Producción.

Abstract

Coffee farming is a fundamental pillar of the national agricultural economy, a task that depends on the work of hundreds of small producers, most of whom are the ones who contribute the largest amount of coffee production in the country, however, for these small cultivation areas, access to technologies with the aim of increasing crop productivity and yields has not been effective due to various situations of social, environmental, or political origin.

Technology transfer has been slow, and the incorporation of management techniques to increase productivity has been limited, such as the use of harvest forecasts, which aims to make an approximate estimate of the productive volume of the coffee plantation or a particular harvest, this is a method that facilitates decision-making, resource management and the general management of the coffee activity.

There are several methods to estimate the harvest, of which the most representative in the country were taken, and some of the most used internationally in order to describe and analyze their functionality, this work aims to make a comparison of the different harvest forecasting methods for coffee.

Keywords: Forecast, Harvest, Estimation, Production.

Tabla de Contenido

Listado de Tablas	8
Listado de Figuras	9
Introducción	10
Justificacion	11
Objetivos	12
Objetivo General	12
Objetivos Específicos	12
Generalidades del café	13
Taxonomía de la Planta de Café.....	15
Morfología del Cafeto	16
Productividad del café y condiciones adversas.....	28
Condiciones Edafoclimáticas para la Producción de Café.....	28
Densidad de Siembra.....	34
Variedades de café cultivados en Colombia	37
Productividad del Café	37
Pronóstico de Cosecha	39
Factores que Intervienen en un Pronóstico de Cosecha	40
Métodos de pronóstico de Cosecha en Colombia	42
Métodos de Pronostico de cosecha basado en la inteligencia artificial.....	52
Métodos de pronóstico de cosecha foráneos	56
Conclusiones	67
Recomendaciones	69

Bibliografía	71
--------------------	----

Listado de Tablas

Tabla 1.	16
Tabla 2.	17
Tabla 3.	19
Tabla 4.	23
Tabla 5.	24
Tabla 6.	26
Tabla 7.	27
Tabla 8.	28
Tabla 9.	33
Tabla 10.	34
Tabla 11.	36
Tabla 12.	41
Tabla 13.	50
Tabla 14.	61

Listado de Figuras

Figura 1.	13
Figura 2.	15
Figura 3.	17
Figura 4.	18
Figura 5.	19
Figura 6.	21
Figura 7.	22
Figura 8.	25
Figura 9.	27
Figura 10.	38
Figura 11.	56
Figura 12.	61
Figura 13.	62
Figura 14.	66

Introducción

Los pronósticos de cosecha representan una actividad fundamental para calcular el rendimiento o la productividad de un cultivo agrícola, con el paso de los años se han desarrollado métodos que buscan predecir la cantidad de la producción de una forma fácil y precisa, a nivel mundial se continua con el desarrollo de métodos factibles que ayuden a pronosticar el volumen de la producción del café, uno de los productos agrícolas más importantes, ya que es la segunda bebida más consumida en el mundo, fuente de ingresos y de desarrollo, de innumerables personas y países.

En el presente trabajo se hace un estudio exploratorio de los diversos métodos o técnicas de pronóstico de cosecha aplicadas al cultivo de café variedad *Arabica* o café lavado suave, estos métodos se pueden basar en la recopilación de la información agronómica o climática del cultivo, muestreos en campo, uso de modelos de simulación, fórmulas matemáticas, además se han hecho esfuerzos por incorporar el uso de las tecnologías y la inteligencia artificial para esta actividad, en la nación se han desarrollado varias técnicas con el objetivo de simplificar el trabajo y brindar datos certeros, que favorezca a la economía agrícola nacional.

Justificación

La caficultura Nacional está inmersa en fuertes fluctuaciones respecto al precio del café, situación que perjudica a los productores y centros cafeteros, ya que la caficultura es el principal motor económico en la agricultura nacional, que beneficia a más de 560 mil productores, cuyas familias están constituidas por cerca de 2,7 millones de personas, ubicadas en 20 de los 32 departamentos del país. Por lo anterior cabe resaltar que factores como las condiciones climáticas adversas, fenómenos económicos, políticos o sociales influyen en la variabilidad del mercado, y además otros factores como los métodos de manejo agronómicos utilizados en cada parcela, están relacionados directamente con la cantidad de cosecha.

La mayoría de los caficultores desconocen de procedimientos acertados para estimar el volumen de la producción del cultivo en un periodo determinado, esto entorpece la planificación de labores, el cálculo de los costos productivos, las ganancias obtenidas, o las fechas que abarca el periodo productivo, razón que dificulta la gestión eficiente de los recursos y la toma de decisiones, por esta razón se propone el uso de pronósticos de cosechas para anteponerse al comportamiento fluctuante del mercado y tomar las medidas necesarias para minimizar pérdidas y maximizar ganancias, por lo tanto se realiza una recopilación bibliográfica con la finalidad de socializar este trabajo como una guía para la implementación de los modelos de pronóstico de cosecha factibles para los caficultores nacionales, además de servir como medio de consulta para técnicos o cualquier persona interesada en el tema.

Objetivos

Objetivo General

Analizar el uso de métodos de pronóstico de cosecha para el cultivo del café *Coffea arábica* en Colombia

Objetivos Específicos

Describir las condiciones para la producción del cultivo de café *Coffea arábica* en Colombia

Identificar y describir los Métodos de Pronostico de Cosecha del Cultivo del Café *Coffea arábica*

Caracterizar los Métodos de Pronostico de Cosecha del Cultivo del Café *Coffea arábica* más utilizados en Colombia.

Generalidades del café

El cafeto *Coffea Arábica* L. es originario de las regiones tropicales de la alta Etiopía, en el continente africano, situadas entre los 6° y 9° Norte, entre 1600 y 2000 metros de altitud, con temperatura media anual entre 18° y 20°C y entre 1500 y 1800 mm de precipitación media anual, estas zonas poseen una estación seca de 4 a 5 meses. (Mora, 2008). El cafeto se cultiva en una estrecha franja situada en el trópico de cáncer (23, 5° Norte) y el trópico de Capricornio (23, 5° Sur), fuera de esta zona presenta limitaciones por el riesgo de heladas. Existen 103 especies descritas en el género *Coffea*, 41 de estas son originarias de África continental. (Peñuela Martínez *et al*, 2013)

Figura 1.

Zona Cafetera en el Mundo



Fuente: Bonka. Principales países productores de café. Tomado de www.bonka.es

El café (cafeto) pertenece a la familia de las Rubiáceas, la cual está compuesta por cerca de 500 géneros y más de 6.000 especies, que en su mayoría provienen del trópico y poseen una

amplia distribución geográfica. (Peñuela Martínez *et al.*, 2013), su rango altitudinal se sitúa en zonas templadas entre los 600 a 1.200 metros de altura sobre el nivel del mar. El café produce frutos carnosos que varían del color rojo a la púrpura estas se conocen como cereza, en su interior poseen dos núcleos que contienen cada uno un grano o semilla. (Belitz & Grosch, 1999). “En las plantas la semilla es la encargada de perpetuar la existencia de la especie, y en el caso particular del café, también es el órgano que se comercializa y consume”, además de lo anterior las semillas desempeñan una función fundamental en la renovación, persistencia y dispersión de las especies. (Peñuela Martínez *et al.*, 2013)

El género *Coffea* cuenta con aproximadamente 100 especies, sin embargo, tan sólo se cultivan Arábica y Robusta, las cuales a su vez presentan cuantiosas variedades, destacándose las siguientes especies: *Coffea* Arábica L.; *C. Canephora* Pierre exFroehner y *C. liberica* Bull exHiern, las cuales son mayoritariamente cultivadas y distribuidas a nivel mundial. (Mora, 2008).

De las tres especies mencionadas anteriormente, la *Coffea* Arábica L. es la más consumida, cultivada y comercializada, por la extraordinaria calidad de su bebida. “El café comercializado a nivel mundial proviene de *C. arábica* o arábicas, del *C. Canephora* o robustas y, en menor escala del *C. Liberica*. vegetales (Agrocadena del Cafe, 2008).

Los rangos adecuados para el desarrollo del cultivo recomendados por la Federación Nacional de Cafeteros se hallan entre los 19 y 21,5° C de temperatura, y una precipitación de 1800 a los 2800 mm anuales. (Federación Nacional de Cafeteros., 2010).

Figura 2.

Planta de Café arábica var. Castillo



Fuente: Elaboracion propia.

Taxonomía de la Planta de Café

Dentro de todas las familias botánicas, las Rubiáceas constituyen el género *Coffea* el cual es de gran importancia en el sentido económico actual. En base a diversos estudios este género proviene de África, del total de las 103 especies conocidas del género *Coffea*, 41 de estas provienen del continente africano, extendidas en la franja de la zona tropical húmeda. Cerca de 59 especies son silvestres en la isla de Madagascar. (Davis *et al.*, 2006) citado por (Herrera, 2013).

Tabla 1.*Taxonomía del Café*

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Gentianales
Familia	Rubiacea
Subfamilia	Ixoroideae
Tribu	Coffeae
Genero	<i>Coffea</i>

Fuente:. Adaptado de (Escobar Molina, 2017) Clasificación taxonómica del café

Morfología del Cafeto***La Raíz***

Las plantas jóvenes de café desarrollan un sistema con una raíz principal ampliamente ramificada, de la cual se desprenden las raíces secundarias. Cuando alcanza su etapa adulta se desarrolla como una raíz pivotante central cuyo tamaño varía entre 50 – 60 cm de profundidad, donde surgen dos tipos de raíces, las primeras axiales o profundas están tiene el objetivo de anclar a la planta, y las segundas laterales, donde se desprenden las raicillas, están se encargan de captar los nutrimentos de la solución del suelo. (Arcila P., *et al.*, 2007). En los primeros 10 cm de profundidad se hallan la mayor cantidad de raíces activas del cafeto entre 1 y 1,5 m desde el tronco, donde en los primeros 30 cm de profundidad se encuentran el 86% de las raíces absorbentes y un 89,9% de las raíces totales del cafeto. (Nutman F. , 1993) (Arcila P., *et al.*, 2007) (Peñuela Martinez *et al.*, 2013).

Figura 3.*Raíz de Chapola de Café*

Fuente: Elaboracion propia.

Tipos de raíces**Tabla 2.***Tipos de raíces de la planta de café*

Tipos	Descripción
Raíces laterales superficiales	Crece horizontalmente hasta 1,5 m del tronco, se ramifican en un plano horizontal o a veces se ramifican uniformemente en el suelo en todas las direcciones.
Raíces laterales subsuperficiales	Se desarrollan a mayor profundidad que las anteriores y se ramifican en el suelo en todos los planos.
Raíces portadoras de raíces absorbentes	Son de longitud variable y se distribuyen uniformemente a unos 2,5 cm de distancia sobre las raíces permanentes (de más de 3 mm de espesor). Tienden a ser más cortas y numerosas en la capa más superficial del suelo.
Raíces absorbentes	Crece uniformemente sobre las anteriores, a todas las profundidades y son más numerosas en la capa superficial del suelo.

Fuente: Adaptado de: (Arcila Pulgarín J. , 2007) Tipos de raíces del café

La arquitectura de la planta influye en la capacidad que tiene para absorber la energía solar y transformarla en biomasa (raíces, tallos, flores y frutos). (Peñuela Martínez *et al.*, 2013).

El Tallo

Generalmente el cafeto está conformado por un solo tallo o eje central, en ocasiones existen dos, el tallo posee dos tipos de crecimiento: el primero llamado crecimiento ortotropo cuyo crecimiento es vertical, se concentra en el ápice de la planta (yemas apicales) que va alargando durante toda su vida, formando el tallo principal, nudos y entrenudos. El segundo crecimiento plagiotrópico, de forma horizontal o lateral, donde crece la zona axilar compuesta por las yemas laterales, yemas axilares y yemas seriadas. (Arcila Pulgarin J. , 2007). Los meristemas de las yemas son los responsables del desarrollo de los primordios de nudos, hojas, brotes, ramas y flores. (Arcila Pulgarin J. , 2007) (Peñuela Martinez *et al.*, 2013)

Figura 4.

Tallo de una planta de café en producción



Fuente: Elaboración propia.

Nota. Se observa la arquitectura del tallo y como se desprenden las ramas productivas del mismo.

Tipos de Ramas

El desarrollo de la parte aérea del café ocurre en las yemas apicales y axilares ubicadas en el tallo y las ramas, estas dan lugar a la formación de los nudos, las hojas, las yemas florales y las ramas. Los factores medioambientales (agua, energía y minerales) influyen en la formación de

ramas y hojas, además estos factores también influyen en la cantidad de cosecha (Cannel M., 1985).

En el tallo se forman nudos sobre los que se desarrollan dos axilas foliares opuestas, en cada una se originan de 4 o 5 yemas de forma lineal, ordenadas de mayor a menor, conocidas como yemas seriadas (yemas laterales o axilares). La primera es la de mayor edad, en estas se forman brotes que crecen horizontalmente y se transforman en las ramas primarias, un par de ramas primarias por nudo. La siguiente yema de la serie forma brotes verticales llamados chupones, las yemas restantes permanecen latentes o eventualmente, forman flores y frutos caulinares, o que crecen en el tallo. (Arcila P., *et al.*, 2007).

Tabla 3.

Tipos de Ramas en el Cafeto

Tipo de rama	Descripción
Ramas laterales primarias	Estas yemas se forman en las axilas de las hojas del tallo principal, se alargan continuamente y se producen a medida que el eje central madura.
Ramas secundarias y terciarias	Se forman a partir de ramas laterales primarias, se producen de forma opuesta por medio de yemas vegetativas a partir de estas yemas se forman flores y frutos.

Fuente: Adaptado de (Arcila P., *et al.*, 2007)

Figura 5.

Ramas de una Planta de Café en Prefloración



Fuente: Elaboracion propia.

Las hojas

Las hojas son estructuras fundamentales en la formación de las plantas, son las encargadas de realizar importantes procesos vitales para el crecimiento y sostenimiento como: la fotosíntesis, la respiración y la transpiración. (De la Cruz, Samaniego & Zurita Rivera, 2021) Las hojas protegen las yemas, flores y frutos de las condiciones climáticas adversas como el granizo, fuertes precipitación y exceso de radiación solar entre otros. (Arcila Pulgarin J. , 2007)

El desarrollo sano y vigoroso del tejido foliar demuestra el buen funcionamiento de la planta. Las hojas en la variedad arabica son opuestas, de forma elíptica, glabras o sin pelos están cubiertas por una capa cerosa en el haz, con nervaduras reticuladas, compuesta por una nervadura central y de 9 a 12 nervaduras secundarias en ambos lados, recurvadas y sobresalen por el envés, sus bordes son enteros y levemente ondulados el color de las hojas varía desde el verde al bronce cuando son jóvenes y se van tornando verde oscuro a medida que se desarrollan,

el color de las hojas en sus primeros estados de desarrollo, facilita a la diferenciación entre las variedades de café. (Peñuela Martínez *et al.*, 2013)

Figura 6.

Hojas de Colino de Café



Fuente: Elaboración propia

Nota. Hojas primarias y hojas verdaderas en una plantula de café.

La Inflorescencia

La floración del cafeto está estrechamente relacionada a las condiciones climáticas en cada zona y generalmente se evidencia al momento de la antesis o cuando se abren las flores. Sin embargo, la floración es un proceso complejo que inicia de 4-5 meses antes de la apertura floral. (Camayo V., *et al.*, 2003).

La flor del cafeto se une a la inflorescencia mediante el pedicelo, está conformada por una corola con cinco lóbulos, posee un cáliz, cinco estambres que están insertados entre los lóbulos por medio de filamentos cortos, en cada estambre hay una antera con cuatro sacos polínicos. El pistilo conformado por el estilo, estigma, y ovario, este se ubica en la base de la

corola (Ífero) y contiene dos óvulos que una vez fertilizados, van a producir dos semillas de café, (Arcila P. J. , 2004)

Las flores del cafeto se forman en los nudos de las ramas donde se hayan las yemas de las axilas foliares, que están organizadas de a dos axilas foliares en forma opuesta, y en cada una se forman de 3 a 4 yemas florales o inflorescencias y en cada yema floral entre 4 y 5 flores. En un nudo puede haber entre 24 y 32 botones florales, es decir de 12 a 16 botones florales por axila. (Arcila P.,*et al.*, 2007).

Figura 7.

Floración del Café



Fuente: Elaboracion propia.

Tabla 4.*Proceso de Floración del Café*

Proceso Fisiológico	Descripción
Inducción floral e iniciación de la inflorescencia	Esta fase ocurre a nivel molecular de forma acelerada y no es diferenciable externamente, luego de la inducción floral inicia la inflorescencia, esta puede durar entre 30 a 35 días, en esta etapa el nudo está rodeado por estipulas de color verde claro.
Desarrollo de los botones florales en las yemas	Esta fase termina cuando son visibles los botones florales adheridos entres si y aun cerrados, donde emergen de una inflorescencia multifloral, el tamaño de os botones es el de un comino, y esta etapa puede durar 45 días en promedio.
Latencia	Los botones florales crecen hasta un tamaño de 4 a 6 mm, donde aún verdes se separan y detienen su crecimiento, entran en una etapa de reposo o latencia que es inducida por la exposición continua de la yema a estrés hídricos y factores endógenos puede durar alrededor de 30 días.
Preantesis	Las lluvias ocasionan, la reducción súbita de la temperatura y la variación de los contenidos de ácido giberelico, estimulando el crecimiento del botón floral latente, que aumento de 3 a 4 veces su tamaño. Los botones inician la etapa de preantesis y esta se observa por la coloración blanquecina de los pétalos que continúan cerrados, y dura de 6 a 10 días.
Antesis (apertura de flor)	Es la última etapa y la flor abierta dura en promedio 3 días. En <i>Coffea arabica</i> , la flor se autofecunda, y ya cuando la flor abre, esta fecundada en un porcentaje mayor del 90%.

Fuente: Adaptado de: (Arcila P., *et al.*, 2007)

Tipo de Fruto

El fruto es importante pues este contiene las semillas, que desempeñan el papel biológico de perpetuar la especie. El fruto del café es una drupa de forma globular u ovalada, con un tamaño de 10 a 15 mm, llamado cereza. (Peñuela Martínez *et al*, 2013). Las almendras o granos de café, los cuales son utilizados para preparar la bebida, están recubiertos por dos capas, la primera llamada pergamino o endocarpio, la cual es dura y frágil, y la segunda, una membrana

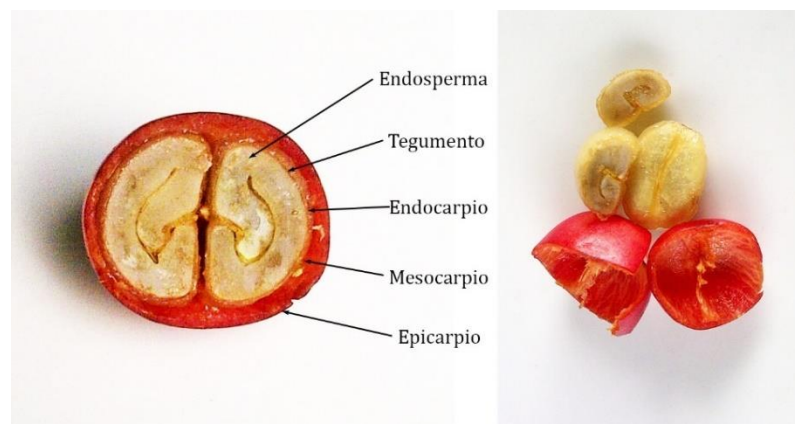
fina llamada espermodermo o película plateada. El fruto está conformado por la pulpa, epidermis o Exocarpio, y el mucílago o mesocarpio, esta es una sustancia azucarada y gelatinosa, que forma una capa de 0,5 mm de espesor, la cual recubre los dos granos. (Ramos G., *et al.*, 2010). El color externo varía del verde o amarillo hasta el color rojo, púrpura o negro, el color depende de la variedad y grado de madurez. (Arcila P., *et al.*, 2007).

Tabla 5.

Partes de la Semilla del Café

Parte	Descripción
Exocarpio (epidermis)	Es la capa externa del fruto representa el 43,2 % del peso húmedo del fruto, su coloración varía de acuerdo con su variedad y grado de maduración.
Mesocarpio (mucílago, baba)	Es una capa gruesa compuesta por tejido esponjoso de 5 mm de espesor, es alto en azúcares y mucilagos, este representa el 11,8% del peso húmedo del fruto, recubre los dos granos.
Endocarpio (pergamino, casquilla)	Es una membrana de color amarilla pálida de consistencia dura y frágil, conocida como pergamino, representa el 6,1 % del peso del fruto.
Espermoderma (película platea)	Esta es una membrana fina, que va adherida al grano (albumen), llamada película plateada (tegumento seminal), representa el 0,2 del fruto en base humedad.
Endospermo	Es el café verde, representa el 38,9 % del peso húmedo y 55,4% del peso seco del fruto.

Fuente: Adaptado de (Arcila Pulgarin J. , 2007)

Figura 8.*Partes del Fruto de Café*

Fuente: Mamasame. Anatomía del café. tomado de: www.cafesmamasame.com

El tiempo estimado en el cual transcurre la etapa de floración y maduración del café, es de 32 semanas en promedio, (CENICAFE, 2001)., es decir que el desarrollo de un fruto o grano puede tardar entre 220 a 240 días, dependiendo de los factores edafoclimáticos de una región. (Arcila P., *et al* 2007). En este tiempo ocurren diversos procesos fisiológicos y están divididos en varias etapas como se observa a continuación:

Tabla 6.*Etapas del Desarrollo del Fruto del Café*

Numero de Etapa	Descripción
Etapa 1	En las primeras 5- 7 semanas, entre los 0 a 50 días después de floración, ocurre un crecimiento lento, en la cual el fruto alcanza el tamaño de un fosforo.
Etapa 2	Entre las semanas 8 a la 17, entre los días 50-120 después de floración, el fruto crece en forma acelerada hasta obtener su tamaño final, y la semilla desarrolla una consistencia gelatinosa.
Etapa 3	Entre las semanas 18 a la 25, de los 120-180 días después de la floración, la semilla o almendra completa su desarrollo, adquiere su consistencia sólida y gana peso.
Etapa 4	Entre las semanas 26 a la 32, entre los días 180-224 días después de floración, el fruto se encuentra fisiológicamente desarrollado y comienza a madurar.
Etapa 5	Después de la semana 32, por encima de 224 días, el fruto se sobremadura y se torna de un color violeta oscuro y finalmente se seca.

Fuente: Adaptado de (Arcila P. & Jaramillo R., 2003); (Arcila P., *et al.*, 2007)

La semilla

En Colombia, las variedades que se cultivan mayoritariamente provienen de la especie *C. arábica* L., la cual se caracteriza por poseer tasas de autofecundación de 90%-95%, esto permite obtener poblaciones más homogéneas, siendo el método de reproducción sexual el más utilizado. (Nutman F. , 1993); (Peñuela Martinez., *et al.*, 2013)

La semilla de la planta de café está conformada por una nuez oblonga, plano, convexa de tamaño variable (10-18 mm de largo y 6,5 -9,5 mm de ancho) (Arcila *et al.*, 2007) un fruto de café de 200 a 220 días después de fecundado contiene un par de semillas maduras fisiológicamente, lo que quiere decir que poseen la capacidad para formar una nueva planta

(Franco & Alvarenga, 1981); (Peñuela Martinez *et al.*, 2013). En el caso del café, que tanto el fruto como la semilla es lo que se consume, estos comparten algunas estructuras en común.

Tabla 7.

Partes de la semilla del café

Parte	Descripción
Película plateada:	La cual recubre el endospermo, y está formada por células esclerenquimáticas fusiformes es decir en forma de huso de reducido tamaño, las cuales son de textura gruesa y tiene la función de sostén.
Endospermo:	Constituye la mayor parte de la semilla, es una fuente de nutrientes que actúa como reserva durante los primeros estados de desarrollo, cuando no han emergido los cotiledones, este contiene proteínas, alcaloides (cafeína), aceites, azúcares, dextrina, pentosas y celulosa, entre otros, compuestos que le otorgan al grano sus propiedades organolépticas y sensoriales.
Embrión:	Este compuesto por un hipocótilo que es la parte del eje por debajo del cotiledón donde nace la radícula y un epicótilo el cual es la parte del eje por encima del cotiledón y a partir de este crecen los dos cotiledones.

Fuente: Adaptado de (Peñuela Martinez *et al.*, 2013).

Figura 9.

Semillas de Café



Fuente: Elaboración propia.

Nota. Semillas de café pergamino seco.

A continuación, se mencionan los principales defectos que reducen la viabilidad de una semilla de cafeto.

Tabla 8.

Defectos en la semilla del Café

Tipo de defecto	Descripción
Grano vacío (flotantes):	Uno o ambos cotiledones se hayan vacíos sin formación del endospermo, estos granos producen el efecto de espuma o pasilla a la hora del beneficio.
Grano parcialmente formado:	Uno o ambos granos no logran completar la formación y el llenado es incompleto, estos granos alcanzan a madurar y producen el efecto averanado, es cual es una semilla arrugada.
Grano negro:	Son frutos en estado de desarrollo avanzado con la particularidad de poseer un color café oscuro a negro, debido a diversos factores.
Grano pequeño:	El fruto se desarrolla, pero su tamaño es diminuto y es visible al momento de la trilla.

Fuente: adaptado de (Valencia A., 1973); (Arcila P., *et al.*, 2007)

Productividad del café y condiciones adversas

Condiciones Edafoclimáticas para la Producción de Café

Brillo solar

Es la radiación que llega a la superficie terrestre y puede ser utilizada por los cultivos expresa en horas luz, y su unidad de medida es watts en m^2 , se registra con un heliógrafo, “el valor promedio para la zona cafetera es de $4,5 \text{ h.día}^{-1}$ (1668 h. año^{-1}), con valores máximo promedio $6,9 \text{ h.día}^{-1}$ (2525 h. año^{-1}) y mínimos promedio $2,7 \text{ h.día}^{-1}$ (977 h. año^{-1})”. (Peñuela Martinez *et al.*, 2013).

La floración en el café se da como una respuesta fenológica al cambio en los estímulos ambientales y es un indicador en la productividad del cultivo de café, esta ocurre entre 4 y 5 meses antes de la antesis o apertura de la flor. (Camayo & Arcila P., 1996). Existen estudios que sostienen que el brillo solar y el número de botones florales están correlacionados (Castillo y López, 1966; (Ramirez *et al.*, 2011); (Peñuela Martínez *et al.*, 2013), es decir que la radiación solar estimula la formación y crecimiento de botones florales en ciertos periodos de desarrollo, se requiere un brillo solar promedio equivalente a 4.8 horas al día⁻¹ o 1750 h. al año⁻¹. (Ramirez *et al.*, 2010), (Ramirez *et al.*, 2011)

Lo anterior indica que existe una correlación directa entre el brillo solar acumulado y la producción acumulada de café, esto permite estimar el potencial productivo del café en función del brillo solar.

Fotoperiodo

El fotoperiodo se refiere al tiempo en que las plantas realizan un conjunto de procesos para regular sus funciones biológicas, en relación con la cantidad de luz solar que puede utilizar para realizar sus funciones metabólicas, este valor se expresa en horas día a lo largo del año. En específico el fotoperiodo hace referencia a la duración del día, en el cual interviene la época del año (temporada o estación) y de la ubicación geográfica (la latitud), en zonas cercanas al ecuador (0° la latitud Norte o Sur) la duración del día es igual a la de la noche. En la medida en que se aleje del ecuador, hacia el norte o hacia el sur, la longitud del día será diferente a la noche, dependiendo la época del año. (Peñuela Martínez *et al.*, 2013).

La inducción de la formación de los botones o diferenciación florales depende, del fotoperiodo o duración del día; lo que quiere decir que existen plantas que su floración sucede durante días largos, mayores a 12 horas, otras durante días cortos y otras su floración ocurre sin

importar la duración del día son indiferentes a este parámetro. En el caso del cafeto la floración ocurre durante los días cortos, con un fotoperiodo crítico de 13,5 horas de brillo solar astronómico (Camargo & Pereira, 1994).

Temperatura

Es un fenómeno producto del calentamiento del aire por efecto de la radiación que emite la tierra hacia la atmosfera, La temperatura determina la duración de varios procesos fenológicos tales como: el tiempo transcurrido de la siembra hasta la primera floración, o hasta la primera cosecha, al desarrollo foliar y el desarrollo del fruto del café. a medida que se asciende en altitud baja la temperatura y por ende se alarga el periodo productivo del cultivo. (Peñuela Martínez *et al.*, 2013)

El rango óptimo de temperatura para el cultivo del café oscila entre los 18° y 22°C, cuando las temperaturas sobrepasan los 23°C, y ocurre un periodo seco en la época de la floración, se produce aborto floral y formación de flores estrella, esto ocasiona un déficit en la producción, por otra parte, si la temperatura es inferior a 18°C, promueven el crecimiento vegetativo, reduciendo la diferenciación floral y promoviendo el exceso de follaje, esto incide en una baja productividad. (Jaramillo Robledo J. , 2005)

Disponibilidad hídrica

Una planta de café en promedio requiere de 125 mm de agua al mes, cuando es valor es inferior a este, la producción se disminuye. (Blone T, 1966); (Dagg, 1971) (Gutiérrez M. & Meinzer F., 1994) (Kumar, 1979)

El aporte hídrico para el cafeto principalmente proviene de la precipitación de las temporadas de lluvia, esto va ligado al concepto de requerimiento de lluvia. (Ramírez *et al.*,

2009). “Parte de la lluvia se queda en las hojas como lluvia interceptada y otra se mueve superficialmente como escorrentía” (Jaramillo R., 2003) (Ramírez B. & Jaramillo R., 2007)

El déficit hídrico estimula la floración del café, este permite la concentración de los botones florales latentes, que entran en antesis o floración aproximadamente entre 7 y 10 días después de una lluvia superior a 10 mm. El déficit hídrico mantiene la dormancia o latencia y cuando se obtienen varios días secos, se obtienen menos eventos de floración, sin embargo, la floración es más concentrada y con mayor cantidad de botones florales, lo que se conoce como floraciones concentradas. Los efectos del déficit hídrico son variados cuando es moderado se presentan síntomas como pérdida de turgencia de la hojas o deshidratación y caída en el ángulo de inclinación foliar, las estomas se cierran evitando el intercambio gaseoso, en la medida en que se reduce la humedad del suelo. En la medida en la que el déficit hídrico se hace más prolongado se empiezan a observar alteraciones morfológicas en la planta como reducción del área foliar de las hojas nuevas, reducción de la distancia de los entrenudos y caída prematura de hojas. (Peñuela Martínez *et al.*, 2013). por otra parte, el exceso hídrico en la producción cafetera genera un impacto directo en la disminución de la tasa de evapotranspiración por el exceso de agua en el suelo y ocasiona el cierre estomático ejerciendo un efecto similar al déficit hídrico. (Gómez M., 2000)

Tipo de Suelo

La raíz es el órgano que garantiza el crecimiento y desarrollo óptimo de una planta, la cual se encarga de absorber los nutrimentos esenciales y agua necesaria, para suplir sus necesidades nutricionales y cumplir las funciones metabólicas para continuar con sus procesos vitales, esta se encuentra en contacto directo con el suelo, la población biótica y factores

abióticas, un suelo con condiciones físicas y químicas adecuadas facilita el desarrollo de raíces más largas, profundas y ampliamente distribuidas. (Suarez de C., 1953), (Oliveros *et al.*, 2009)

Según. (Gomez *et al.*, 1991) para asegurar una adecuada producción de café el suelo debe poseer las siguientes condiciones físicas:

- Poseer una profundidad efectiva mayor de 50 cm
- Alta resistencia a la erosión, buen drenaje,
- Buena aireación y permeabilidad,
- Tener un pH entre 5 y 6
- Pendientes menores a 45%,

En cuanto a la fertilidad esta puede ser baja, sin embargo, puede solventarse con el uso de fertilizantes químicos. Existen diversos factores bióticos y abióticos que pueden afectar en gran medida la producción del café, atacando a las plantas en diferentes estados fenológicos, lo que contribuye al deterioro y enfermedad de los cultivos, por lo tanto, disminuye la productividad y el rendimiento del cultivo, continuación, se visualiza una síntesis de los factores climáticos que afectan a la producción del café, los cuales fueron anteriormente detallados.

Tabla 9.*Principales Factores Climáticos que Afectan al Café*

Factor	Descripción
Disponibilidad de energía solar	Procesos fotosintéticos, regulación del crecimiento y desarrollo.
Radiación solar	Elongación de tallos y ramas, diferenciación de nudos, números de flores, actividad fotosintética (cantidad de biomasa acumulada).
Temperatura	Tasa de desarrollo de la planta y etapas fenológicas.
Disponibilidad de Agua	Relacionada con el volumen de cosecha, floración semestral y distribución de estas. Importante para programar tareas de siembra, fertilización.
Brillo solar	Formación de nudos, número de flores.

Fuente: Adaptado de las investigaciones de (Arcila P., *et al.*, 2007); (Ramírez *et al.*, 2010).

Por otra parte, los factores bióticos como diversos artrópodos, hongos, bacterias entre otros organismos atacan a las plantas en sus estados fenológicos, retrasando su desarrollo, impidiendo su metabolismo normal y por ende disminuyendo la productividad, a continuación, se observan las principales plagas y enfermedades que pueden afectar la productividad de un cultivo de café.

Tabla 10.*Principales Patógenos que Afectan la Producción del Café*

Tipo de patógeno	Descripción
La broca del café (Hypothenemus Hampei)	Ataca a los granos de café ocasionando daños y la caída de estos, cuando los frutos son atacados cerca de los dos meses de edad, más del 50% caen de las ramas y muchos de estos se tornan de un color característico al de la madurez; si el ataque ocurre después de los tres meses de edad la caída del fruto se reduce y es menor al 23,5%.
El mal rosado (Corticium Salmonicolor)	Afecta a los tallos, ramas, hojas y frutos, provocando necrosis o muerte de tejidos; los frutos se momifican y caen, lo que genera un aspecto de paloteo en el árbol, con el avance de la enfermedad afecta la producción de la rama o la totalidad del árbol.
La mancha de hierro (Cercospora Coffeicola)	Esta enfermedad ataca las hojas, ramas y frutos de todas las variedades de café cultivadas, después del cuarto mes de desarrollo los frutos son más susceptibles y se presentan necrosis y como consecuencia, la pulpa se adhiere al pergamino produciendo lo que comúnmente se conoce como café guayaba.
Collectotrichum sp.	Ocasiona daños en flores y en frutos, produce secamiento y caída de los frutos, y la flor afectada permanece unida al glomérulo hasta su necrosis total.
Déficit Hídrico	El crecimiento reproductivo es afectado por la disponibilidad hídrica, la deficiencia hídrica favorece la floración, sin embargo, también cuando es excesiva perjudica el crecimiento vegetativo de la planta y el desarrollo normal del fruto.

Fuente: Adaptado de (Leguizamón C., 1997); (Gil V., 2001); (Bustillo P., 2002); (Arcila

Pulgarín & Jaramillo Robledo., 2003); (Galvis G., 2003); (Arcila P., *et al*, 2007)

Densidad de Siembra

Es el número de plantas que se van a establecer en un área determinada, es decir es la distribución o el arreglo espacial de la cantidad de plantas que se desean sembrar en un espacio, de acuerdo con sus medidas lineales entre plantas y surcos, con base en esta información se calcula la cantidad de semilla y el material vegetal necesario a utilizar, la densidad de siembra es

uno de los factores más importantes en las prácticas de manejo agronómico para el cultivo de café. (Araque & Duque, 2019) es una estrategia de fácil implementación y largo alcance, cuya prioridad es el aumento de la capacidad fotosintética, el número de flores y frutos, pues a mayor cantidad de plantas es posible interceptar más luminosidad por superficie de suelo, lo que repercute en un incremento de materia seca y aumenta la productividad. (Unigarro *et al.*, 2021)

Una de las ventajas al establecer una adecuada densidad de siembra en el cultivo, es un mejor aprovechamiento del agua y los nutrientes, minimización de los efectos producidos por las altas temperaturas y por ende una mayor productividad, (Giomo *et al.*, 2009). Por otra parte, el uso de las “altas densidades contribuyen a mejorar el reciclaje de nutrientes y reducir las pérdidas de suelo de erosión” (Augusto *et al.*, 2007). Otra de las ventajas es la disminución de la presencia de arvenses, y la reducción de costos para el manejo, lo que conlleva al aprovechamiento eficiente del área de cultivo (Arcila, 2007).

Tabla 11.*Principales distancias de siembra en Colombia*

Distancia entre surco	Distancia entre plantas	Total= plantas por hectárea
		Plantas/ha
1	1	10000
1	1,2	8333
1	1,5	6667
1,2	1,2	6944
1,2	1,5	5556
1,2	1,2	6944
1,5	1,5	4444
1,5	2	3333
2	1	5000
2	1,2	4167
2	1,5	3333
2	2	2500

Fuente: Adaptada de (Arcila, 2007).

Nota. Algunas distancias de siembra que son utilizadas en el país, estas varían de acuerdo con la variedad sembrada, relieve del terreno, características climáticas entre otros parámetros para tener en cuenta.

Variedades de café cultivados en Colombia

En Colombia se ha desarrollado exclusivamente el uso y desarrollo de variedades provenientes de la especie *Coffea arábica* L. por su excelente sabor y demanda, a los inicios del año 1900 predominó el cultivo de variedades de porte alto, la variedad Típica esta fue sembrada con una baja densidad de siembra y uso de sombra. (Castillo Z., 1990) posteriormente el cultivo evolucionó hacia sistemas intensivos de porte bajo y a plena exposición solar. (Mestre M. & Salazar A, 1990). Durante la década de 1990, se intensificó el cultivo de variedades de porte bajo, resistentes a la roya, la más destacada es la variedad Colombia. (Castillo Z. & Moreno, 1988). En la última década las investigaciones se han encaminado al desarrollo de nuevas progenies de porte bajo, resistentes a la roya con mejores características y tamaño del grano, lo que se conoció como variedad Castillo, (Alvarado 2004), el último esfuerzo de los investigadores se ve reflejado en la variedad Cenicafé 1, la cual ha tenido una gran aceptación por parte de los caficultores.

Productividad del Café

La productividad de un cultivo se define como “la masa por unidad de área que es producida en un rango de tiempo determinado”, es un indicador de la estimación de datos históricos de producción y de diversos factores como: la influencia de los factores climáticos, las deficiencias nutricionales, las características del suelo, el ataque de plagas, el desarrollo de estructuras vegetativas, entre otros. (Ramos Giraldo, 2017). Otra definición de la productividad es la relación de una medida de volumen de producción a una medida de volumen de uso de insumos.

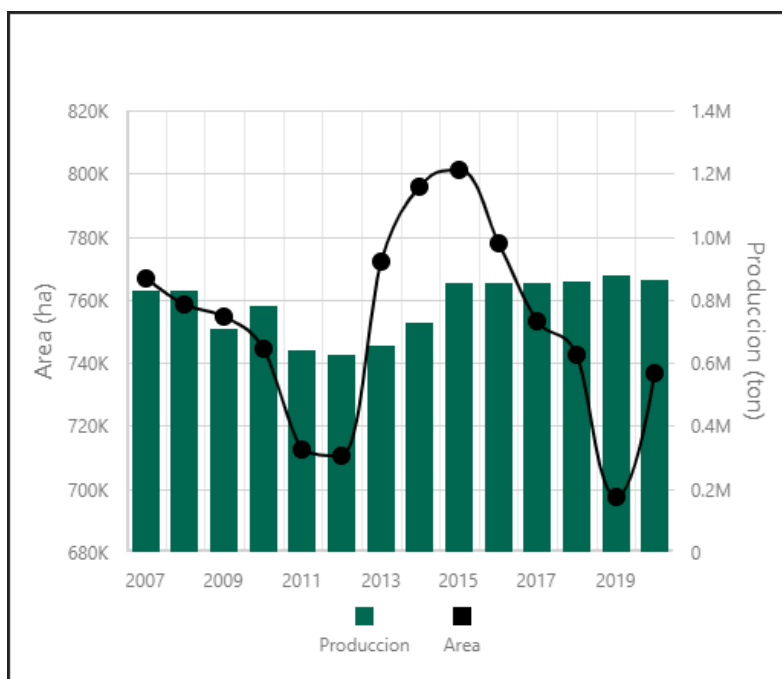
La productividad y el rendimiento están relacionadas en el éxito de una cosecha, para determinar estos factores se utilizan unidades de peso por área, el éxito de los anteriores depende

de la fertilidad del suelo, la adaptación genética de la planta a las condiciones del clima o los suelos, y el impacto de la tecnología empleada. Conocer la productividad de un cultivo resulta beneficioso para las empresas agroindustriales, el gobierno de cada país, pues en base a esta información se pueden realizar estrategias referentes a la implementación de políticas de seguridad alimentaria, estimaciones de exportación, pronóstico de rentabilidades futuras, políticas para controlar el exceso o déficit de producción, el desarrollo de planes de fertilización, entre muchas razones más. (Lobell *et al.*, 2009) y (Agarwal, 2005). (Ramos Giraldo, 2017)

La productividad del café es definida en kilogramos de café pergamino seco (cps) por planta o arrobos por hectárea, esto se logra con un correcto manejo de todos los factores anteriormente nombrados.

Figura 10.

Rendimiento nacional de café expresado en toneladas por área.



Fuente: Agronet. Tomado de: www.Agronet.com

Nota. Grafica de la producción de café nacional durante el periodo de 2007 al 2019, se observa la producción de toneladas por área, donde los años de mayor rendimiento se hallan entre el 2015 y 2018.

Pronóstico de Cosecha

El pronóstico de cosecha, también conocido como pronóstico de producción o estimación de cosecha, entre otros sinónimos, “consiste en la determinación en forma anticipada de los volúmenes de fruta que se espera obtener al finalizar la cosecha comercial de cada producto”. (Instituto de Desarrollo Rural, s.f). cómo se observa en la anterior definición, un pronóstico o estimación de cosecha básicamente es un método para determinar la producción futura de un cultivo, a continuación, se expondrán otras definiciones con el objetivo de ahondar en el tema principal.

Según (Machado, 1952) El pronóstico de cosecha es una actividad importante que se realiza a escala nacional, entre gremios como el comité y empresas privadas que se dedican al negocio comercial del café, un pronóstico de cosecha es importante no solo para los investigadores en agronomía, también lo es para economistas, agricultores y hombres de negocios. (Machado, 1952).

De acuerdo con: (Salcedo *et al.*, 1988). El objetivo principal de los métodos de estimación de cosecha es el de precisar con anticipación y con cierto margen de seguridad, la producción del cultivo que se trate, con base en esta se puede programar las siembras del siguiente ciclo, las importaciones o exportaciones a efectuarse. Además de prever las necesidades del cultivo, de los centros de recepción. (Salcedo *et al.*, 1988)

La estimación de la producción en café es de gran utilidad en la toma de decisiones como: la programación de labores administrativas en el cultivo, la determinación del número de operarios necesarios para la recolección de la cosecha, el cálculo de las dimensiones de la infraestructura para los procesos de beneficio y almacenamiento, además permite conocer la respuesta del cultivo a los diversos manejos, el caficultor puede negociar los volúmenes de producción con sus compradores de forma anticipada y calcular pérdidas en la producción por factores imprevistos entre otras utilidades. (Rendon *et al.*, 2008)

De acuerdo con (Ramos Giraldo, 2017) para medir el potencial de producción se emplean tres estrategias:

1. Modelos agroclimáticos de simulación.
2. Modelos basados en características de la planta.
3. Modelos de valoración por parte de los agricultores, para este método a menudo se usa información de áreas extensas, basados en datos estadísticos del clima, históricos de producción y dinámica del sistema suelo-planta-atmósfera. (Lobell *et al.*, 2009) y (Agarwal, 2005);(Ramos Giraldo, 2017).

Factores que Intervienen en un Pronóstico de Cosecha

Existen diversos factores que pueden alterar el resultado de un pronóstico, a parte de los vistos anteriormente hay dos factores claves para el desarrollo de esta actividad, los cuales han sido estudiados por diversos investigadores, de los cuales resaltan los siguientes: durante el año 1947-1948 en un informe sobre las labores desarrolladas por la sección de agronomía del centro Nacional de investigaciones de café de Chinchiná, (Caldas, Colombia), realizo un estudio sobre el tamaño de la muestra y el número de cosechas, que son necesarias para recopilar información correcta sobre el promedio de cosechas de una plantación. (Machado, 1952)

Tamaño de la muestra

Es el grupo de individuos que se estudiarán en una investigación, Para que los resultados sean válidos, la muestra de la población debe de ser representativa. (Fuentelsaz Gallego, 2004). Es importante determinar el tamaño de la muestra pues si esta es demasiado pequeña, el nivel de incertidumbre será grande y si la muestra es demasiado grande, el coste será elevado. A medida que el número de muestras aumenta, la varianza del error de cálculo disminuye, la precisión de los cálculos aumenta y es posible otorgar más confianza a la estimación. (McRoberts *et al.*, 1992).

Tabla 12.

Tipos de Muestreos

Tipo de muestreo	Descripción
Muestreo aleatorio simple	Se toman las muestras de forma aleatoria, pueden existir espacios y terrenos vacíos dentro de la población muestreada; este tipo de muestreo se utiliza en cultivos anuales y pasturas, en tierra homogéneas y planas.
Recorrido aleatorio estratificado	Se dividen los lotes en estratos y se recolectan las muestras en cada estrato y luego se mezclan. Este muestreo se recomienda en terrenos colinados, o laderas, para cultivos de granos básicos, sistemas agroforestales, y cultivos en laderas.
Muestreo sistemático	Se utiliza una cuadrícula fija, o matriz, para asignar parcelas en un patrón regular, lo que minimiza la correlación espacial entre observaciones e incrementa la eficacia estadística.
Muestreo estratificado	Se divide la población en subpoblaciones, denominadas estratos y a continuación tomar una muestra independiente en cada estrato.
Muestreo en cuadrícula	Consiste en dividir cada lote en cuadros iguales, y recolectar muestras en cada uno para después mezclarlas. Se recomienda para pequeñas parcelas de hortalizas, donde los suelos son muy homogéneos.

Muestreo en Zigzag	Se realiza caminando unos 25 a 30 pasos desde cada punto seleccionado y trazar líneas cruzadas lo que se hace en cada lote, luego se recolectan las submuestras y se mezclan para obtener cada muestra, de manera que sea representativa. Es recomendado para tierras muy homogéneas y planas; típicas en cultivos anuales, pastos y semi perenes.
Muestreo en X	Consiste en ubicar cada extremo o esquina del lote, se toma el primer punto el cual es el inicio y se van recolectando las submuestras por el sentido opuesto formando una x en la parcela, posteriormente se mezclan las submuestras. Es un patrón de muestreo común en cultivos anuales y semi perennes, en suelos planos.

Fuente: Adaptado de (McRoberts *et al.*, 1992); (Mendoza & Espinoza , 2017)

Métodos de pronóstico de Cosecha en Colombia

Como se mencionó anteriormente los pronósticos de cosecha son una herramienta para predecir el volumen de una producción en un tiempo determinado, sin embargo en el campo Colombiano también se utiliza un método de pronóstico de cosecha muy usado a nivel nacional por los campesinos, pequeños y medianos productores, este no se basa en la aplicación de fuentes científicas, o el uso de complicadas fórmulas matemáticas, sin embargo, este método es el preferido a lo largo del territorio nacional y puede variar de acuerdo con la perspectiva del evaluador. El método empírico se basa en el conocimiento adquirido a través de los años en base a prueba y error, donde el productor ha concentrado gran conocimiento de las dinámicas internas y externas de sus propios cafetales, es decir es un método cualitativo basado en la experiencia, donde por lo general existen tres categorías para clasificar la producción de una cosecha:

- Buena cosecha
- Regular cosecha
- Mala cosecha

Es un método visual de campo, donde además el agricultor toma datos visuales y mentales de la variabilidad climática, el estado del cultivo, la fertilización aplicada, la cantidad

de frutos en un área, debido a su constante trabajo dentro del cultivo, este método aunque no arroja una cifra exacta tiende a dar una certeza en la perspectiva del agricultor, sin determinar la cantidad de producción, las ganancias obtenidas, las inversiones posibles, ya que confía en la gran experiencia que posee, sin embargo para optimizar los recursos y obtener datos reales es necesario mejorar la metodología cualitativa y cambiarla a la seguridad del método cuantitativo.

Antecedentes Nacionales

En esta sección se recopila la información de los métodos de pronóstico de cosecha Nacionales evidenciados en informes, tesis de grado, congresos y cualquier publicación referente al tema, se presentan en orden cronológico. Como primer acercamiento la siguiente investigación fue realizada por Machado S.; A., durante el año 1947-1948, data de la primera investigación registrado con el objetivo de evaluar un diseño de pronóstico de cosecha para el café, para esta investigación fueron conformados los siguientes grupos de individuos: 25; 50; 75; 100; 150; 200 y 300 plantas de cafetos en 1; 2 ;3 ;4 ;5 cosecha conjuntas, donde se determinó los análisis estadísticos de: la medida aritmética, la desviación estándar y el coeficiente de variabilidad para cada caso.

Los resultados obtenidos fueron:

- a. La variación en el tamaño de la muestra no estuvo asociada con la variación en el coeficiente de la variabilidad el cual fue de (67;6).
- b. Las diferencias de producción entre un cafeto y otro se reducen considerablemente cuando el promedio de producción se determina sobre el total de café en cereza rendido en un cafeto de dos años consecutivos donde se obtuvo (52%).
- c. La variación de la producción entre distintos cafetos llega a niveles bajos cuando el promedio de cosecha por cafeto se determina sobre el monto total de la cereza rendida por cada ejemplar durante 4 años consecutivos en un (45%).

No obstante, el mismo académico realizó otro estudio, donde involucro en la investigación los factores o variables de órganos aéreos de 104 cafetos de 14 meses de edad, cuyas variables fueron:

- Numero de axilas dobles que producirán flores y frutos, es una variable dependiente y se le atribuye la letra Y_0
- Sector ramificado del tallo principal, medido en milímetros variable independiente X_1
- Diámetro del tallo principal determinado a 10 cm de altura sobre el nivel de suelo (decimas de milímetro) variable independiente X_2
- Numero de nudos portadores de ramas primarias variable independiente X_3

La localidad seleccionada cumplía con las características edafoclimáticas óptimas para la producción de café.

Método en base a la poda de la planta

Por otra parte (Machado, 1952) continuando su investigación realizó un estudio en base a la producción individual por cafeto en grupos de 100 plantas en dos localidades: el primero ubicado en el centro nacional de investigaciones de café en Chinchiná, Caldas con cafetos descopados y la segunda la subestación experimental de café “Esteban Jaramillo” en Venecia Antioquia con cafetos al libre crecimiento, considerando las cosechas de 1944 a 1948 en el primer caso y 1945 a 1948 para el segundo. En ambos centros se determinó los factores como precipitación, altura sobre el nivel del mar, temperatura media, latitud, tipo de suelo y el promedio de cosecha. Este estudio buscó correlacionar las cosechas de distintos años.

Las conclusiones de la investigación fueron:

- a. En cafetos jóvenes, sin descope de 14 meses de permanencia en campo definitivo, es prudente esperar hasta que fructifiquen algunos años. Reemplazar los valores de “axilas de florecencia” por los de las cosechas obtenidas y con esta nueva información volver hacer cálculos de correlación múltiple y parcial.

- b. En cafetos adultos, de tercera cosecha en adelante con o sin descope es posible ensayar, provisionalmente, los resultados obtenidos por medio de las fórmulas, pero dentro de los límites fijados para cada una de ellas y sin perder de vista que los valores correspondientes al error standard son elevados
- c. Antes de diseñar el trabajo experimental propiamente dicho es importante congregar as observaciones que permitan hacer nuevos estudios y buscar otras bases de pronóstico con el fin de conocer sus valores y poderlas comparar con las encontradas al hacer estas primeras exploraciones.

VARIABLES RESULTANTES EN LA INVESTIGACIÓN:

$$y_0 = 8,13 - 9,58x_3 \div 0,978 x^2_3$$

Para cafetos jóvenes sin descope

$$y_0 = 3,458 \div 0,37x_a$$

Para cafetos estabilizados con descope definitivo.

Las anteriores variables han servido como punto de partida para las posteriores investigaciones respecto a la estimación de cosecha en el cultivo de café. Machado concluye que el experimento en campo es irremplazable, no obstante, es demorado requiere de terrenos en diferentes localidades y es costoso. (Machado, 1952)

Método de acuerdo con la producción

(Cepeda, 1981), destaca que a pesar de fluctuaciones es posible y necesaria la utilización de métodos y modelos económico-matemáticos y económico-estadístico para pronosticar a corto, medio y largo plazo, la dinámica de la producción, exportación y consumo de café. En una publicación de revista colombiana de matemáticas N.º 3 de 1981, este autor recopiló dos formas de realizar un pronóstico, la primera referente a la cosecha y la segunda forma enfocada a

determinar el consumo en U.S.A, por lo cual tiene en cuenta otros factores como: “el consumo per cápita de un país, el tiempo, la relación entre los precios del café, y el índice general de los precios al consumidor”. para el primer caso el cual es el objeto de estudio, los pronósticos de producción basados en la productividad promedio por árbol, a partir de su relación con los factores que la determinan, toman la siguiente formula:

$$y = (T \cdot D)$$

Y= productividad promedio anual de un cafeto

T= edad productiva del árbol

D= lluvia caída durante el tiempo de floración

$$y = 1,67 - \frac{0,285 T}{0,08 D}$$

Para realizar un estimativo de la producción en la región, es necesario conocer el número de árboles en producción durante el periodo determinado, esta información se puede obtener mediante censos agrícolas, o investigaciones de muestreo. (Cepeda, 1981)

Método tradicional de la federación nacional de cafeteros

En Colombia el principal organismo institucional con presencia en todos los departamentos cafeteros, es la Federación Nacional de Cafeteros (FNC), cuya misión es velar por el mejoramiento del sistema productivo de todos los caficultores de Colombia, además cumple con las siguientes funciones: garantía de compra, la investigación científica y tecnológica, la asistencia técnica brindada por el Servicio de Extensión, así como las labores de promoción y comercialización que han contribuido a posicionar a Café de Colombia como el mejor café suave lavado del mundo. (Federacion Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC), s.f).

Estos realizan la estimación de la producción, bianual y cada semestre se desprenden, contabilizan y pesan, todos los frutos de los árboles muestreados en lotes de diferentes regiones del país; este método entrega valores acertados de producción anual, sin embargo, es un método destructivo, costoso, lento, y tiene un alto requerimiento de mano de obra. Generalmente, los caficultores pueden hacer cálculos aproximados de su cosecha, a partir de su experiencia evalúan la intensidad de floración, la fructificación, el estado fitosanitario de la planta y llevan registros de ciclos de producción anteriores, para determinar si su cosecha actual será buena, regular o mala.

Sin embargo, el cafetal puede sufrir influencias negativas, tanto de factores externos, como de factores de manejo, que pueden producir la caída de flores y/o frutos, y alterar la intensidad de la cosecha. Finalmente, los caficultores no tienen conocimiento preciso de la cantidad de café que pueden producir realmente y las necesidades de infraestructura y mano de obra. (Ramos Giraldo, 2017).

Pasos para realizar el pronóstico de cosecha

1. Se eligen fincas al azar de acuerdo con el sistema de información cafetera, en la cual se encuentran registrados los caficultores que reciben asistencia técnica por parte de la federación.
2. Se escogen 50 plantas al azar con un método de muestreo en zigzag contando de 5 a 10 planta de izquierda a derecha y 5 a 10 plantas hacia arriba o hacia abajo (o viceversa) en el lote asignado.
3. Se escogía la rama más productiva de la planta y se realizaba conteo de los frutos desarrollados.
4. Luego se aplican fórmulas para obtener un promedio de producción del área. (no se hallan formulas específicas utilizadas por la federación nacional de cafeteros).
5. Otra variante de este método es el método destructivo, en este se realizan los anteriores pasos, con la adición de cuando se muestrean las plantas se recolectan los frutos de todos

los individuos muestreados (10, 20 o 30, la cantidad acordada de la muestra) en sus diferentes estados fenológicos, maduro, verde, pintón donde se guardaba en bolsas para luego ser llevado rotuladas y pesadas por parte de los técnicos de la federación. Los productores reciben el pago de los frutos extraídos, de acuerdo con el precio del mercado y como kilos de café pergamino seco.

Debido a la metodología de carácter destructivo los campesinos evitan realizarla por disminuir la producción, y perder varios kilos de esta.

Método en base a la floración

Un grupo de Investigadores de Cenicafe, (Rendon saenz., *et al.*, 2008), realizó un estudio con el objetivo de establecer un método de pronóstico de cosecha que difiere de los anteriores, con la particularidad que toma como partida el evento de floración del cafeto, en cuatro lotes comerciales de variedad Colombia, de una edad entre 1,5 y 2,5 años, localizado en la finca las Américas en el municipio de Palestina, Caldas con las características edafoclimáticas de altitud: 1250 m.s.n.m, precipitación anual: 2700 mm y temperatura 22°C, cuyos datos fueron tomados de la estación climática Naranjal. Se seleccionaron 4 lotes de aproximadamente 1 Ha de área, con cafetales entre 1,5 y 2,5 años árboles provenientes de zocas cuya densidad por hectárea varía de 8888 a 10000.

El procedimiento consistió en registrar las floraciones ocurridas en cada uno de los lotes seleccionados para el estudio, durante dos periodos, el primero comprendido entre el 1 de julio y 31 de octubre del año 2005, cosecha de marzo a junio del 2006, y el segundo periodo de 1 de noviembre del 2005 al 30 abril del 2006, cuya cosecha se proyecta el 1 de julio a diciembre del 2006.

Para los registros por cada evento se aplicaron dos métodos de muestreo: por surcos y aleatorio de forma simultánea, con un tamaño de muestra de 380 árboles y el segundo de forma

aleatoria simple con un tamaño de 760 árboles. El registro de floración de cada árbol consistió en tomar la rama con mayor número de botones florales en estado de (B4) o preantesis, para hacer el conteo de estos y del número de ramas con botones en este estado. Donde se evaluaron parámetros como: porcentaje de cuajamiento, peso por cereza y se registró la producción en kilogramos de café cereza. Con esta información se estimó la proporción de árboles con flores, total de flores, porcentaje de floración y producción. En la estimación de la proporción de árboles con flores se presentaron errores absolutos por debajo del 5%; el promedio del error relativo para la estimación del número de flores fue de 13% para las floraciones correspondientes a la cosecha de mitaca y del 13,7% para la cosecha principal. Los errores para la producción fueron de <20%, en el 44,1% de los eventos según el método de muestreo por surcos, y en el 35,29% de los eventos según el método de muestreo aleatorio. El tamaño mínimo de muestra para estimar el número promedio de flores por árbol/lote es de 250 árboles, para un error relativo menor del 20%. (Rendon saenz., *et al.*, 2008)

En conclusión, se define que el método ofrece un primer acercamiento a la cuantificación de la floración en lotes comerciales de café, con el objetivo de estimar la producción a nivel de finca, a partir de esta metodología se podría estimar con una anticipación aproximada a 8 meses, que es el tiempo transcurrido entre la antesis y la maduración de cerezas. El método de surcos es sencillo y práctico, pues permite el desplazamiento dentro de los lotes para seleccionar la muestra con una mínima complejidad e identificar las principales características de la población. (Ramos Giraldo, 2017)

Método de simulación de la producción

Se planteó un modelo de simulación matemática de la producción potencial del cultivo del café en Colombia. En este estudio se tomaron como referencia los datos de la estación de

Naranjal en Chinchiná, Caldas, Santagueda y el Tablazo. Los modelos representan simplificaciones de los sistemas y esta simplificación se manifiesta por el número limitado de variables de estado que se deben considerar y manejar en un modelo. Hasta el momento los grupos interdisciplinarios más importantes que trabajan en la modelación de cultivos agrícolas siguen en lo fundamental a la estrategia propuesta por: (Wit. & DE Vries, 1982), (Arcila P., *et al.*, 2009), esta se centra principalmente para caracterizar la producción y crecimiento del cultivo, en la producción de materia seca, y no tanto en el desarrollo morfogénico. Se definen cinco niveles de producción. Estos niveles en un orden de productividad descendente son:

Tabla 13.

Niveles de Producción en el Modelo de Simulación

Nivel	Descripción
Nivel de producción 1	Corresponde a la situación potencial alcanzada en condiciones con suficiente y adecuada cantidad de nutrientes y agua en el suelo, durante el periodo de crecimiento y desarrollo del cultivo.
Nivel de producción 2	Corresponde a la situación en la que el crecimiento está limitado por el déficit o exceso de agua, por lo menos en un intervalo de tiempo importante en el periodo de importante de crecimiento y desarrollo del cultivo, y por agua o radiación en el resto del periodo.
Nivel de producción 3	El crecimiento está limitado por el déficit de nitrógeno, por lo menos en algún intervalo de tiempo importante del periodo de desarrollo del cultivo, y por agua o radiación para el resto del periodo.
Nivel de producción 4	El crecimiento también está limitado por la baja disponibilidad de potasio y otros minerales, por lo menos en algún intervalo de tiempo importante del periodo de desarrollo del cultivo. Corresponde por lo general, a áreas con cierto nivel de explotación donde se fertiliza deficientemente o no se fertiliza.

Nivel de producción 5	El crecimiento y desarrollo del cultivo está limitado por plagas y enfermedades, las cuales pueden afectar cualquiera de los niveles anteriormente descritos.
-----------------------	---

Fuente: elaboración propia adaptado de (Arcila P., *et al.*, 2009)

Se definieron 6 subsistemas de factores determinantes del cultivo de café. Que actúan de forma integral:

- Subsistema de factores del clima,
- Subsistema de factores del suelo,
- Subsistema de factores manejo de planta (condiciones ambientales),
- Subsistema planta (fisiología y ecofisiología),
- Subsistema de plagas y enfermedades,
- Subsistemas socio- económico.

En cada proceso y en cada subsistema se pueden presentar tres tipos de variables:

Exógenas, de estado y Endógenas. Las variables exógenas son las de entrada, que se predeterminan independientemente del proceso o subsistema que se considere. Las de estado, como lo indica su nombre, describen el estado del respectivo proceso y del sistema, o de uno de sus componentes (al comienzo, al final o durante un periodo). Las variables endógenas son las variables de salida o de respuesta del proceso o subsistema.

El objetivo de este trabajo fue el de construir un modelo de simulación matemático para el cultivo de café, con el cual se representa el crecimiento vegetativo y reproductivo, la distribución de la materia seca, el desarrollo foliar, el crecimiento del fruto y la producción con un alcance productivo. Lo que conlleva a pronosticar el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo, planear y simular experimentos. Para tal fin, se seleccionó una estructura que simulara el crecimiento vegetativo y reproductivo y la producción potencial, por épocas y regiones. Con

estos supuestos, la tasa de crecimiento es determinada por las condiciones de clima, en particular, la radiación absorbida, considerando los procesos de asimilación de CO₂ respiración de mantenimiento y crecimiento, distribución de los asimilados y desarrollo de área foliar. El modelo que describe el sistema en su conjunto, según lo planteado anteriormente, se caracteriza por ser lógico, estocástico, dinámico, recursivo y para fenómenos que ocurren en períodos relativamente extensos, por tratarse de un cultivo perenne, como lo es el café.

Los resultados obtenidos con la validación del modelo de simulación para la producción para la producción potencial del cultivo del café (nivel 1), en general, muestran lo que se esperaba: sobreestimación de los valores promedios observados por tratarse de la producción potencial. En todos los sitios, en la relación lineal entre valores del límite superior para el promedio de los datos observados y los simulados, los coeficientes de regresión fueron diferentes de cero y menores de uno, estadísticamente, lo cual implica que el modelo sobreestima la producción acumulada de café cereza por árbol, en todos los casos evaluados.

Métodos de Pronóstico de cosecha basado en la inteligencia artificial

Método de visión artificial

De acuerdo con la presente investigación documental los métodos de pronóstico de café basado en el uso de la inteligencia artificial en Colombia se evidencian con las investigaciones de (Ramos, y otros, 2016) donde realizó un ensayo en campo de la utilización de visión artificial, donde se tomaron imágenes de las ramas de café, con ayuda de un celular. Se tomaron imágenes con un tamaño de 3264 x 2448 píxeles con una cámara integrada en un dispositivo móvil, Samsung S5 SM-G900M, dispuesta entre 8 y 15 centímetros de la rama. (Ramos *et al.*, 2016)

Debido a la longitud de las ramas (entre 40 y 60 cm), se capturaron varias imágenes a lo largo de cada rama, obteniendo un total de 280 imágenes para las 69 ramas. Las ramas utilizadas

en este trabajo tenían un porcentaje de maduración entre el 10% y el 70%. Las Imágenes pertenecientes a la misma rama se combinaron para dar un resultado único por rama, estas se obtuvieron de árboles de café de segunda y tercera cosecha, sembrados en la Estación Central Naranjal de Cenicafé ubicada en Chinchiná, Caldas (Colombia), específicamente en 4°58'N, 75°39'W a 1381 m de altitud sobre el nivel del mar. (Ramos *et al.*, 2016)

El experimento se llevó a cabo durante los meses de diciembre de 2013 y abril de 2014 en 69 ramas seleccionadas de café de la variedad Castillo Cada rama contenía frutos en cuatro estados de desarrollo: inmaduro (Etapa II), pintón (inicio - Etapa III), maduro (final – Etapa III) y sobremaduro (Etapa IV). Una vez tomadas las imágenes se extrajeron, contaron, pesaron y clasificaron los frutos década rama para cada estado de desarrollo (maduro, semimaduro e inmaduro). La clasificación manual de referencia se realizó por un panel de expertos. Para la medición del peso se utilizó una balanza de precisión (PB8001-S, Mettler Toledo, Greifensee, Suiza), con resolución 0,1g. (Ramos *et al.*, 2016)

Para el análisis de las imágenes Se utilizaron diez imágenes (tres ramas) tomadas en diferentes condiciones de iluminación para crear el modelo de segmentación mediante la aplicación Food-ColorInspector (disponible en <http://www.cofilab.com>). Esta aplicación permite crear un modelo de clasificación de píxeles basado en análisis discriminante lineal a partir de las coordenadas de color de una selección manual de píxeles pertenecientes a diferentes regiones de interés (clases).

En la validación del modelo se obtuvo un $R^2=75\%$ y un error absoluto medio del 5,5%, de acuerdo con el autor los resultados obtenidos son prometedores para el desarrollo de herramientas que permitan agilizar la estimación manual de cosecha del café utilizando dispositivos móviles, como teléfonos inteligentes, al alcance del caficultor. Aunque en este

trabajo las imágenes se analizaron en un ordenador personal, la adquisición, que es uno de los puntos más importantes y críticos del proceso, se realizó con un dispositivo móvil en condiciones de campo lo que permite pensar en una aplicación real para la caficultura colombiana. El autor continuo los estudios y en el siguiente año, lanza su tesis doctoral con un estudio enfocado a diseñar un método de pronóstico de cosecha por medio de imágenes y uso de inteligencia artificial. (Ramos *et al.*, 2016)

Método estimación con aplicación móvil

De acuerdo con sus trabajos anteriores (Ramos Giraldo, 2017) afirma que el uso de imágenes es una de las principales herramientas para automatizar la adquisición de la información para diferentes modelos de estimación y pueden existir diferentes maneras de adquirirlas: con satélites, vehículos aéreos, imágenes en campo y sensores remotos dispuestos en las diferentes plataformas. En este estudio se plantea un modelo que, a partir del conteo de los frutos visibles en una sección de la rama de café, se determine la totalidad de los frutos presentes en la misma y se cuantifique el potencial productivo de una rama. El modelo planteado es sencillo, responde a una relación lineal simple y muestra que este tipo de modelos es aplicable al cultivo del café. Puede ser aplicado por cualquier usuario para determinar el potencial productivo (Ramos Giraldo, 2017)

En este estudio se presenta una alternativa tecnológica para la estimación de frutos presentes en ramas de café, basada en algoritmos 2D y 3D, tanto para determinar la producción de rama y de parcela en un cultivo de café. Se desarrolló un aplicativo móvil que integra sensores inerciales y cámara, para adquirir imágenes/vídeo, seleccionarlas por calidad de imagen, y para georreferenciar la información adquirida en un cultivo de café. El dispositivo móvil es llevado al campo por un sujetador manual que controla las funciones del aplicativo móvil y a su vez puede

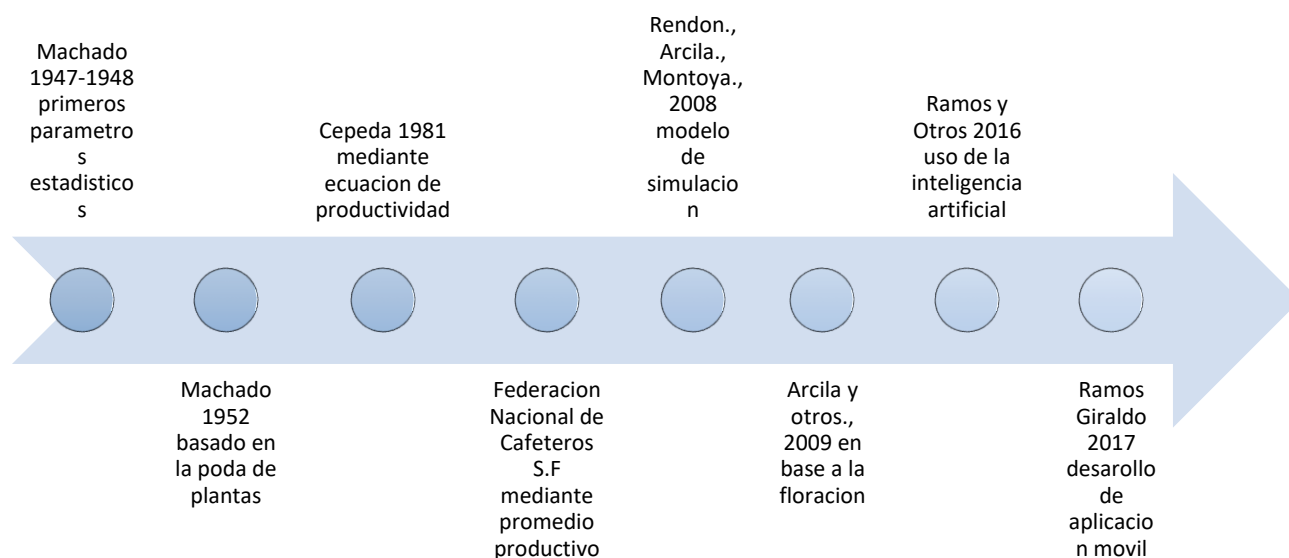
ser utilizado en cultivos de diferentes edades, con árboles de café con alturas que varían entre los 80 cm y 2,8 m, en cualquier condición topográfica y densidad de plantación. (Ramos Giraldo, 2017) . Se podría decir que este método es la continuación del anterior estudio, basado en el desarrollo de diseñar un método de visión artificial que identifique el estado de madurez de los granos de café, claramente se avanza a el diseño de un sistema de identificación móvil.

Los resultados obtenidos con este objetivo integran el control de la adquisición de imágenes en movimiento, su ubicación en el espacio y la calidad de la información. Con lo anterior y un adecuado uso de la tecnología se podría en un futuro a mediano plazo, tener al alcance del caficultor una herramienta económica, precisa y versátil un método eficiente, no destructivo y de bajo costo para adquirir información de las ramas de café, información útil para planificar el trabajo agrícola y obtención de beneficios económicos de la gestión inteligente de los recursos. Adicionalmente, esta tecnología podría ser aplicada no solo a cultivos de café sino también a otros cultivos como manzanas, naranjas, etc. (Ramos Giraldo, 2017)

En el año 2018 se avanza en los estudios basados en el uso de la inteligencia artificial, se diseñó un prototipo de aplicación móvil por parte de un grupo multidisciplinar, sin embargo, por temas legales, hay una restricción por parte de Cenicafe, para nombrar la investigación, y no es posible ser citada en el presente trabajo.

Figura 11.

Investigadores de métodos de pronóstico de cosecha en Colombia a través de los años.



Fuente: Elaboración propia.

Nota. Línea de temporal de los principales investigadores que desarrollaron métodos de cosecha a través del tiempo hasta la actualidad.

Métodos de pronóstico de cosecha foráneos

Método tradicional o directo

Modelos basados en mediciones directas en campo son reportados por (Vogel , 1985), (Cilas & Descroix, 2004) y (Upreti. G. & Ingamells, 1991)

En ellos se realiza un conteo de las estructuras vegetativas-productivas de la plantación, como los frutos, racimos, ramas y tallos. Este tipo de modelos entregan un valor muy cercano a la producción real del cultivo. Las ventajas son:

1. Método cuantitativo
2. Desarrollado sobre bases fisiológicas
3. Elimina problemas de la distribución de la cosecha, siempre y cuando el muestreo sea definido rigurosamente,
4. Incorpora variabilidad climática y manejo del cultivo
5. Incorpora expresiones de las plantas en su relación suelo – atmosfera.

Las principales desventajas son:

1. Requerimiento de un muestreo destructivo
2. Alto requerimiento de mano de obra calificada
3. Deben ser definidos los momentos para realizar el muestreo, ya que es posible que la expresión de la planta cambie desde la adquisición de la información hasta la recolección.

Método con ecuaciones para obtener el rendimiento

Para el caso el (Upreti. G. & Ingamells, 1991) el procedimiento de muestreo basado en cuadrantes fue diseñado en Hawái, EE. UU., para estimar los 2 componentes más importantes del rendimiento del café, nudos fructíferos /árbol y frutos /nudo. la estimación. El procedimiento demostró que puede estimar con precisión los componentes del rendimiento. El rendimiento estimado con base en estos componentes explicó el 92% de la variabilidad en el rendimiento cosechado. Se desarrollaron dos ecuaciones de predicción de rendimiento. La primera ecuación se basó en el factor de corrección obtenido por la relación rendimiento cosechado/rendimiento estimado con base en el tamaño de frutos maduros tempranos. El segundo se basó en la ecuación de regresión derivada de la regresión del rendimiento estimado del peso de la fruta de la primera cosecha contra el rendimiento cosechado. El modelo de regresión explicó el 92% de la

variabilidad en el rendimiento cosechado. Estas ecuaciones se validaron con los datos obtenidos de un experimento separado. Ambas ecuaciones predijeron con $< 2\%$ de error el rendimiento cosechado, sin embargo, la ecuación con factor de corrección fue más precisa que la ecuación de regresión. Del resumen de los autores. (Upreti. G. & Ingamells, 1991)

Método de acuerdo con el promedio de producción

En el caso de (Cilas & Descroix, 2004) estos describen un método de estimación provisional de los rendimientos de café basado en una estimación temprana del número promedio de frutos usando diferentes componentes del rendimiento. Esta estimación anticipada permite predecir con 6 meses de anticipación la producción de una región cafetalera para un año dado en base a la relación entre la estimación anticipada y la producción real del año anterior. Este método se puede utilizar para predecir la producción de una parcela, un pueblo, una provincia o un país. Se cumplieron los resultados obtenidos en las previsiones de rendimiento de café de dos provincias (Cibitoké y Bubanza) en Burundi. (Cilas & Descroix, 2004)

En los trabajos de (Cilas & Descroix, 2004) y (Upreti. G. & Ingamells, 1991) muestran estimaciones de producción de café a partir de variables endógenas, como los diferentes componentes de producción en el árbol: número de tallos/árbol, racimos/rama, frutos/racimo y racimos/árbol. (Cilas & Descroix, 2004) estiman el número de frutos por árbol (F^f) a partir de la Ecuación (1.1).

$$F = S_t \cdot b_s \cdot g_b \cdot f_g$$

Donde S_t es el número de tallos por árbol, b_s es el número de ramas por tallo, g_b es el número de glomérulos por rama y f_g es el número de frutos por glomérulo. Adicionalmente

reportan métodos estratificados para diferentes áreas, alturas, suelos, relaciones área/suelo y área/altitud con error de estimación inferior al 3,19%. (Ramos Giraldo, 2017)

Método con diferencia en el tipo de muestreo

Otros autores como: (Castro-Tanzi., *et al.*, 2014) también utiliza un método de conteo de frutos con un muestreo aleatorio y estratificado, a través de modelos empíricos formulados utilizando tanto las variables dependientes e independientes en la escala logarítmica. Los autores describen que los esquemas de muestreo destructivos son los métodos más directos y precisos para estimar los rendimientos en los estudios de agroecosistemas. Sin embargo, en muchas situaciones estos esquemas intensivos en recursos no son factibles y/o sostenibles. El objetivo de esta investigación fue desarrollar y comparar censos visuales no destructivos y métodos analíticos para estimar cargas de frutos en *Coffea arabica* var. Árboles Caturra y Catuai utilizando diferentes componentes de rendimiento.

Los datos de carga de frutos se recolectaron en fincas cafetaleras ubicadas en la Región de Los Santos de Costa Rica. Se estimaron dos componentes del rendimiento: número de ramas laterales productivas por árbol y carga de frutos por rama lateral, Se utilizó la regresión OLS para desarrollar modelos empíricos que relacionan estos componentes del rendimiento con la carga total de frutos por planta. Ellos encontraron que contando los frutos presentes en 8 o 9 ramas por árbol es posible determinar el número total de frutos por árbol, en condiciones de dos tallos por sitio para las variedades mencionadas, con coeficientes de regresión entre 0,73 y 0,92. (Ramos Giraldo, 2017). Los mismos autores señalan la importancia de realizar estimaciones cerca de la temporada de cosecha, y conoce lo complejo de este tema, pues el café no está sincronizado fenológicamente y diferentes eventos de floración pueden ocurrir durante todo el año. Adicionalmente, eventos de nutrición y presencia de lluvias pueden cambiar la dinámica de

la producción. el número de ramas laterales productivas por árbol y el número de frutos por rama. Además, un protocolo de muestreo no destructivo de los componentes clave del rendimiento proporciona estimaciones precisas de la carga total de frutos por árbol. Se requiere investigación adicional para relacionar las cargas de frutos con la biomasa total de frutos frescos y biomasa seca en este cultivo perenne. (Castro-Tanzi., *et al.*, 2014)

Método tradicional destructivo

En Latinoamérica región donde se hallan los mayores productores de café en el mundo, también posee grandes aportes para el tema en estudio, en Honduras el Consejo Nacional del café. (Conacafe. Consejo Nacional del Cafe., s.f), estos ejecutan un método de pronóstico de cosecha en campo por el método destructivo, donde el productor realiza cálculos aproximados de su cosecha, considerando factores como: la floración, fructificación, el estado fitosanitario de las plantas, o en ocasiones utilizando su experiencia respecto a los registros de producción de los ciclos anteriores. Sin embargo, concuerda en que el método más acertado es realizado es directo en campo, haciendo recuentos del estado productivo de la planta (bueno, malo, regular), número de bandolas (ramas) y cantidad de frutos.

Según este Organismo institucional el pronóstico debe hacerse en tres momentos:

- Previo a la Floración o iniciando este proceso, con el objetivo de visualizar el comportamiento de las plagas y planificar la fertilización.
- En época de cuajado de fruto para conocer el aproximado de cosecha y adquirir compromisos con las casas comerciales.
- Durante desarrollo del fruto con el objetivo de confirmar la cosecha actual y planificar el manejo el próximo ciclo de producción.

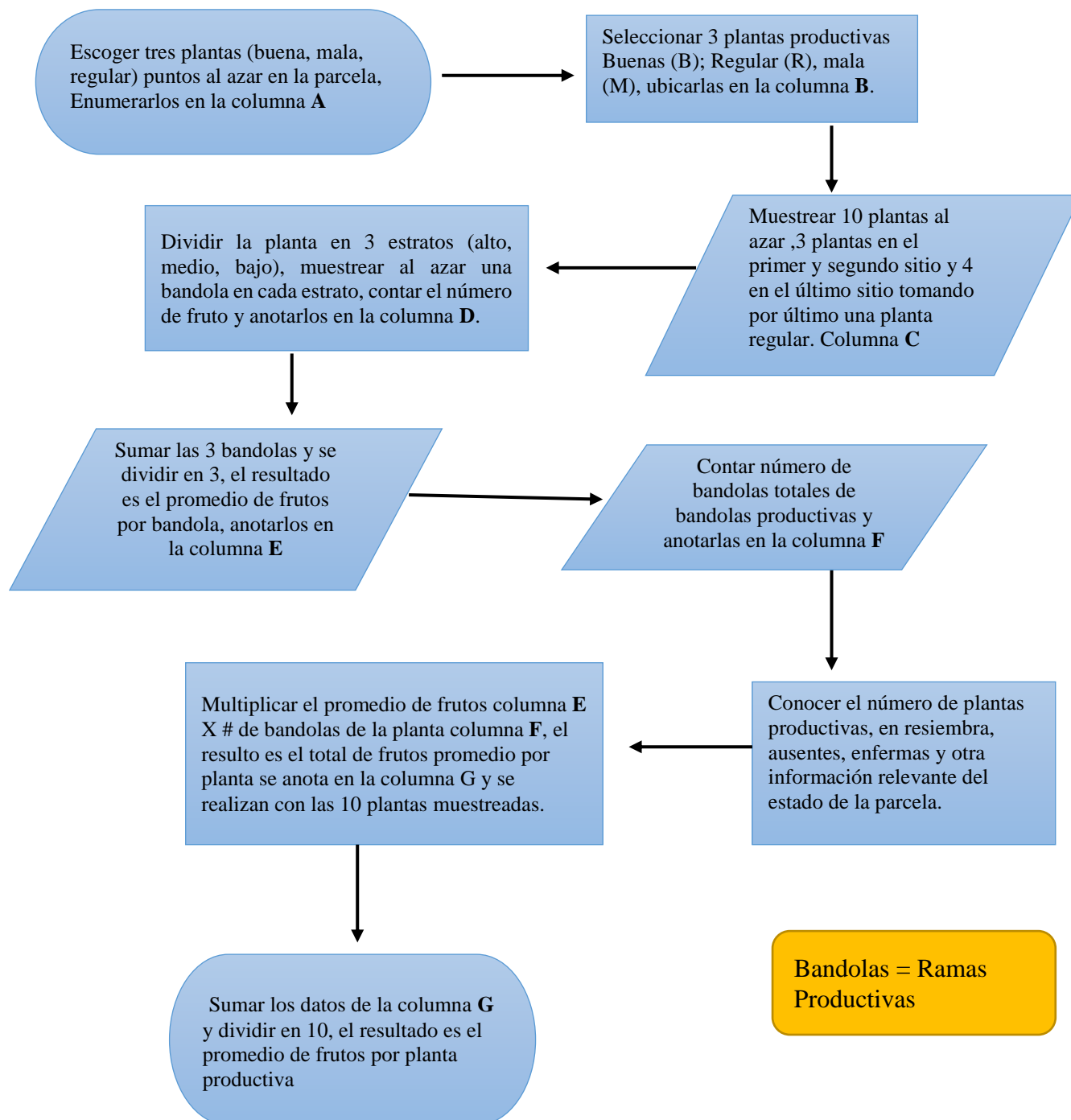
Figura 12.*Formato de Pronóstico de Cosecha*

Nombre del productor:				Cosecha No.:			
Fecha:				Nombre de la Finca:			
Departamento:				Área de la Finca:			
Municipio:				No. de Plantas:			
Vereda:				No. de Lotes:			
A	B	C	D		E	F	G
Sitio	Estimado productiva planta	Plantas	No. de Frutos por estratos		Promedio de frutos por bandola	Numero de bandolas productivas/planta	Total, de frutos por planta
1	B	1	1				
			2				
			3				
	R	2	1				
			2				
			3				
	M	3	1				
			2				
			3				

Fuente: Adaptado de Conacafe, pronóstico de cosecha.

<https://es.slideshare.net/sharemangg/http-conacafeorgestimacion-de-cosecha>.

De acuerdo con (Conacafe. Consejo Nacional del Cafe., s.f), esta institución utiliza un método para la estimación de la cosecha en Honduras y Nicaragua, en el cual se debe tomar en cuenta el uso de un formato y el registro de los datos, además te tomar en cuenta las siguientes instrucciones:

Figura 13.*Procedimiento para Estimar la Cosecha de Café*

Fuente: Adaptado de Conacafe, pronóstico de cosecha <https://es.slideshare.net/sharemangg/http->

conacafe.org/gestionacion-de-cosecha

Claramente este método es muy similar o al que se utiliza en campo o método directo destructivo, ampliamente utilizado por extensionista de la Federación de Cafeteros de Colombia, con la diferencia que en ocasiones el muestreo se hace diferente y la cantidad de plantas pueden ser de 20 por lote.

Pasos para el cálculo de volumen de cosecha contando con los datos del formato:

(estos datos se obtienen mediante el muestreo en campo)

1. $\# \text{ Plantas Productivas } \times \text{ promedio de frutos por planta } =$
produccion de frutos por lote 1

Ejemplo: 2700 plantas productivas X 1612 frutos por planta =
4,352.400 frutos por lote

2. $\text{produccion de frutos por lote } \times \text{ porcentaje de vanos } =$
produccion de frutos por lote

Ejemplo: 4,352.400 frutos por lote X 7% granos vanos = 304.668

3. $\text{produccion de frutos por lote 1} - \text{numero de granos vanos } =$
produccion de frutos por lote 3

Ejemplo: 4,352.400 – 304.668 = 4,047.732

4. $\text{produccion de frutos por lote 3 } \times 1600 (\text{cantidad de granos en una libra}) =$
libras de cafe

Ejemplo: 4,047.332 ÷ 1600 = 2.529.8 *numero de libras*

Método de simulación

Estimar el rendimiento del café midiendo los componentes del rendimiento en lugar de las cosechas completas puede mejorar la capacidad de dar cuenta de las condiciones

heterogéneas comunes en las fincas cultivadas bajo sombra y otros sistemas agroforestales. Desarrollaron una técnica de estimación rápida que predice el rendimiento por planta a partir de (1) una estimación visual del número de frutos por lateral sumados en todos los laterales por planta, y (2) una masa seca de frutos promedio derivada de la cosecha aleatoria de 50 frutos por planta. Luego, la técnica se aplicó a un experimento que investigaba tres niveles de sombra de árboles manejados (0, 40 y 60%) en el rendimiento del café Arábica. Las estimaciones visuales de frutos por lateral demostraron ser buenos predictores de los recuentos de frutos sumados para cada vertical ($R^2 = 0,97$) y el rendimiento de toda la planta ($R^2 = 0,90$). Las simulaciones mostraron que esto era potencialmente mejor que los métodos existentes para tener en cuenta el rendimiento variable por brote vertical a nivel de toda la planta y tomó menos tiempo o esfuerzo cuando se aplicó a las plantas en nuestro estudio. Proponemos que los frutos por lateral son un componente alternativo efectivo del rendimiento que puede dar cuenta de la heterogeneidad en el nivel de sombra, otras variables ambientales o prácticas de manejo que pueden afectar el rendimiento a escalas espaciales pequeñas en los sistemas agroforestales. (Idol & Youkhana, 2020)

Método basado en variables meteorológicas

Continuando con Latinoamérica, y el mayor productor a nivel mundial el cual es Brasil, se observan otros métodos aplicados a la estimación de las cosechas de café, los cuales son llamativos al utilizar variables agroclimáticas y se hace necesario analizar, como el descrito por: (de Oliveira A., *et al.*, 2017) donde explica que algunas técnicas de pronóstico han sido probadas con modelos de cultivo usando varios análisis estadísticos para generar escenarios futuros de rendimiento (Y). Sin embargo, el pronóstico se puede lograr simplemente usando el análisis de regresión y seleccionando cuidadosamente las variables independientes (VI) con desplazamiento

de tiempo en relación con la variable dependiente. La predicción temprana de Y es la vanguardia de la modelización agronómica, que promueve mejoras en la planificación, permite decisiones estratégicas más racionales y aumenta la seguridad alimentaria y económica. Las variables climáticas son los factores más importantes que controlan el rendimiento y la calidad del café (*Coffea arabica* L.). Calibramos y probamos modelos agrometeorológicos para pronosticar el Y anual de café para seis regiones productoras tradicionales del estado de Minas Gerais, Brasil. Usamos regresiones lineales múltiples, seleccionando IV para maximizar el período entre el pronóstico de Y y la cosecha para cada localidad. Los IV fueron variables meteorológicas mensuales de 1997 a 2014: temperatura del aire, lluvia, evapotranspiración potencial, almacenamiento de agua en el suelo, déficit y excedente de agua. Los IV se seleccionaron probando todas las combinaciones posibles en el dominio y evitando la multicolinealidad. Los modelos agrometeorológicos fueron precisos para todas las regiones, y los pronósticos más tempranos fueron de 6 y 5 meses antes de la cosecha para las localidades productoras de Guaxupé y Coromandel, respectivamente. Los modelos de pronóstico de rendimiento para Guaxupé incluyeron el déficit hídrico de julio y octubre y la precipitación de julio para la temporada de alto rendimiento y el déficit hídrico de abril y septiembre y la precipitación de octubre para la temporada de bajo rendimiento. (de Oliveira A., *et al.*, 2017)

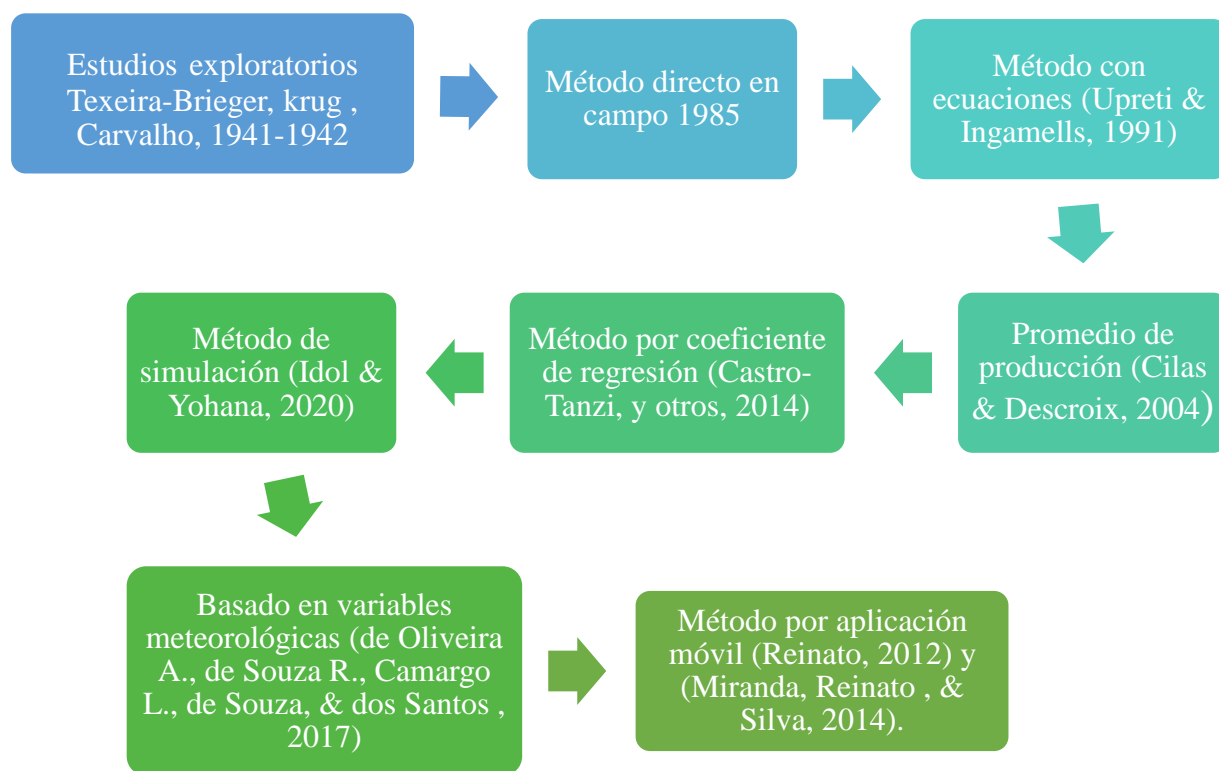
Método de aplicación móvil desarrollado en Brasil

Por otra parte, en Brasil ya se han desarrollado métodos de cosecha a partir de inteligencia artificial e implementado aplicaciones móviles para este objetivo en el cultivo de café, se consultó una investigación cuyo objetivo fue desarrollar un software que implemente el modelo matemático de predicción de cultivos de café basado en índices fenológicos de producción establecidos y probados por (Reinato, 2012) y (Miranda *et al.*, 2014). Para ello

desarrolló una aplicación móvil para la plataforma Android que tiene como principales características: 1) registro de fincas y parcelas, con la posibilidad de calcular el área de las parcelas a través del dispositivo GPS; 2) cálculo de la productividad: implementación de un modelo matemático, que se compone del cálculo del valor de los índices fenológicos de producción seguido de una regresión lineal que convierte el índice en sacos por hectárea, generando además el intervalo de confianza de predicción y 3) consulta de informes de predicciones realizadas previamente. La aplicación fue desarrollada y probada en el cultivo, y los resultados obtenidos por la aplicación son consistentes con los obtenidos por (Reinato, 2012).

Figura 14.

Métodos de pronóstico de cosecha a través del tiempo



Fuente: . Elaboración propia.

Nota. Métodos de pronósticos de cosecha nombrados en orden cronológico

Conclusiones

Mediante el análisis de las fuentes documentales consultadas, se observa que los modelos o métodos para realizar un pronóstico o estimación de cosecha, en un principio fueron basados en las investigaciones desarrolladas en otros países, los cuales estas más adelantados en el área investigativa, sin embargo estas han sido modelos para avanzar en el desarrollo de métodos propios aplicados a la realidad nacional, donde cada investigador continuo su propio criterio en un intento de correlacionar nuevas variables en cada estudio, tomando mediciones a diferentes factores entre los cuales se destacan los factores fenológicos, morfológicos, climáticos, productivos, y tecnológicos entre otros.

En el actual escrito se observa una cantidad considerable de fuentes y estudios del tema pronósticos de cosecha, donde se resalta la importancia de realizar esta labor, por lo tanto es necesario fortalecer las bases metodológicas, y generar la apropiación del conocimiento por parte de los productores, para que el cultivo de café sea más tecnificado aplicando técnicas e incorporando nuevos métodos y tecnologías que faciliten las labores agropecuarias, este trabajo es tan solo un pequeño esfuerzo para incentivar a los caficultores por optar a métodos aplicados a la administración de la producción, haciéndolos más competitivos y analíticos en los gastos, e ingresos, instituyendo una visión gerencial en sus cultivos.

Por otra parte, cabe resaltar que la utilización de la inteligencia artificial es una innovación llamativa por la facilidad en su modo de uso, sin embargo, esta tecnología aún no se ha visto reflejada en la mayoría del territorio, muchos desconocen de este estudio y su alcance, lo que podría simplificar la labor de estimar una producción, ahorrando mano de obra y evitando la toma de muestreos destructivos en campo.

Se enfatiza que la recopilación de datos y fuentes bibliográficas fue un trabajo exploratorio básico debido a la cantidad limitada de la información recolectada y disponible en las páginas oficiales, páginas web de libre acceso y plataformas digitales en su mayoría, resalto el esfuerzo realizado por la Federación Nacional de cafeteros, centro nacional de investigación del café, (Cenicafe) y muchos profesionales que han incorporado nuevas técnicas y métodos para facilitar la estimación de las cosechas, los cuales están descritos en este trabajo. Sin embargo, Sería preciso realizar una investigación más profunda que determine la inclusión de más fuentes de información respecto al tema de pronósticos de cosecha para el café.

A modo personal concluyo que existe poca capacitación y participación por diversos motivos, aunque se observa un alto grado de avance e innovación en el país para dar solución a esta problemática, la transferencia de la tecnología es lenta, y muchas veces ineficaz, esto se puede deber a factores socioeconómicos y culturales, entre los cuales se destaca, el difícil acceso y localización de muchos productores, la falta de financiación y mayor rentabilidad en la producción, los cuales en algunos casos imposibilitan la transmisión de la información a la mayoría de la población que cultiva café, es necesario el fortalecimiento en la ejecución de la aplicación de los pronósticos de cosecha en las fincas y unidades productivas, ya que esto repercutirá en el desarrollo tecnológico, administrativo y productivo enfocado a dar solución real a las necesidades de los agricultores, esto va de la mano con la planificación de las labores, operativas y administrativas y conlleva en la reducción de gastos y por ende mayor rentabilidad en esta explotación.

Recomendaciones

Es necesario continuar con el estudio del tema para profundizar en otros métodos de pronósticos de cosecha que sean útiles y factibles para el uso de los agricultores, técnicos y demás personas interesadas en el tema.

El método más apto para ser utilizado por los pequeños y medianos caficultores es el método en campo basado en la evaluación del promedio productivo de las plantas, el cual es aplicado por la federación nacional de caficultores y empresas productoras, exportadoras de café, el cual está resumido en el capítulo 3 de pronósticos de cosecha página: 51; 65-68, se utilizan un método similar, sin embargo los tipos de muestreo, cantidad de individuos, factores de conversión o fórmulas pueden cambiar, este es un método factible debido a su simplicidad y su predicción es cercana a la real si se siguen los pasos de forma rigurosa, además de poseer los datos reales de la plantación con la ayuda de registros del manejo agronómico de la finca.

Luego de obtener los datos de los promedios de los individuos seleccionados (10, 20, 30 etc.) en forma aleatoria en el lote seleccionado, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{promedio de producción} \frac{\text{grs}}{\text{arbol}} = \frac{(\text{total de frutos cereza} \times 2) \times 0,22}{30 \text{ arboles}} = X$$

Total, de frutos cereza: promedio de los frutos de café en estado de madurez sin procesar o frutos cereza.

2: equivale a dos semillas por fruto.

0,22: peso promedio de cada semilla de café cereza, de acuerdo con la especie este peso puede variar.

X= variable de ejemplo representa el valor de la operación

30 árboles: para este caso se contaron la cantidad de frutos en 30 árboles y se promedió el resultado.

Luego se dispone a realizar la siguiente operación:

$$\frac{\text{estimado de produccion}}{\text{hectarea}} \bar{X} = \frac{\text{grs}}{\text{arbol}} \times \frac{\# \text{ plantas}}{\text{hectarea}}$$

Estimado de producción : promedio de producción en kilos por hectárea, gramos por metro cuadrado, toneladas por hectárea etc.

grs/ árbol : operación anterior

plantas/ hectárea: inventario del total de plantas del lote de estudio en metros cuadrados, hectáreas, fanegadas etc,

NOTA: es importante realizar la conversión de áreas para evitar errores de cálculo en el pronóstico.

Es muy importante la transferencia del conocimiento de los profesionales hacia los agricultores en el uso y aplicación de los pronósticos de cosecha, con el objetivo de gestionar de mejor forma los recursos disponibles.

Bibliografía

- Agarwal, R. (2005). *Forecasting Techniques in Crops*. New Delhi, library Avenue: Indian Agricultural Statistics Research Institute.
- Agronet. (16 de Septiembre del 2022). *Area, Produccion y Rendimiento por Cultivo. Rendimiento del Cafe*. Obtenido de <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Alvarado Alvarado , G. (2004). *Atributo de Calidad de la Semilla de Cafe de las Variedades Colombia y Tabi*. Chinchina Caldas: Avances Tecnicos Cenicafe 304.
- Arcila P., J. (2004). *Anormalidades en la Floracion del Cafeto*. Chinchina, Caldas: CENICAFE, Avances tecnicos No. 320.
- Arcila P., J., Farfan V., F., Moreno B., A., & Salazar G., L. (2007). *Sistemas de Produccion de Cafe en Colombia*. Chinchina: Cenicafe.309 p.
- Arcila Pulgarin, J. (2007). *Sistemas de Produccion de Cafe en Colombia. capitulo 2: Crecimiento y Desarrollo de la Planta de Cafe*. Federacion Nacional de Cafeteros de Colombia.
- Arcila Pulgarin, J., & Jaramillo Robledo, A. (2003). *La humedad del Suelo, la Floracion y el Desarrollo del Fruto del Cafeto*. Avances Tecnicos CENICAFE No. 311:1-8.
- Arcila Pulgarin, J., Jaramillo Robledo, A., Riaño Herrera, N., Quintero Zea, F., & Montoya Restrepo, E. (2009). *Modelo para Simular la Produccion Potencial del Cultivo de Cafe en Colombia*. Manizales: Cenicafe.(Boletin Tecnico No. 33).
- Arcila, J. (2007). *Densidad de Siembra y Productividad de los Cafetales. En Sistemas de Produccion de Cafe*. Chinchina. Colombia: Cenicafe. 1ra Ed. p. 131-143.

- Augusto , H., Martinez, H., Sampaio, N., Cruz, C., & Pedrosa , A. (2007). *Concentracao Foliar de Nutrientes em Cultivares de Coffea arabica L. Sobespacamentos Adensados*. Ciencia e Agrotecnologia, 31 (4), 973-981.
- Belitz, H., & Grosch, W. (1999). *Food Chemistry*. Berlin.Springer - Verlag.
- Blore T, W. (1966). *Further Studies of Water Use by Irrigated an Unirrigated arabica Caffee in Kenya*. Journal of Agricultural Science 67: 145-154.
- Bonka.Nestle. (10 de Agosto 2022). *Viaje por los Principales Paises Productores de Cafe*. Obtenido de <https://www.bonka.es/amor-por-el-cafe/paises-productores-de-cafe>
- Bustillo P., A. (2002). *El Manejo de Cafetales y su Relacion con el Control de la Broca del Cafe en Colombia*. Cenicafe. Boletin Tecnico Cenicafe No. 24.
- Cafes Mama Same. (6 de diciembre del 2020). *Anatomia del Cafe*. Obtenido de <https://cafesmamasame.com/es/blog/cereza-del-cafe-anatomia>
- Camargo, A., & Pereira, A. (1994). *Agrometereology of Coffe Crop*. Geneva, Switzerland: Word of Meteorological Organization, WMO.
- Camayo V, G., Chavez C, B., Arcila P., J., & Jaramillo R., A. (2003). *Sistemas de Produccion de Cafe en Colombia. Desarrollo Floral del Cafeto y su Relacion con las Condiciones Climaticas de Chinchina*. . Caldas: Cenicafe.
- Camayo, G., & Arcila P. , J. (1996). *Estudio Anatomico y Morfologico de la Diferenciacion y Desarrollo de las Flores de Cafeto Coffea arabica L. Variedad Colombia*. Cenicafe 47(3).

- Cannell M., G. (1985). *Physiology of the coffee crop*. Biochemistry and production of beans and Beverag. Avi Publishing co.
- Castillo Z., J. (1990). *Mejoramiento Genetico del Cafe en Colombia*. Chinchina. Caldas: Centro Nacional de Investigaciones del Cafe. Cenicafe. Conferencias Conmemorativas 50 años Cenicafe.
- Castillo Z., J., & Moreno R., G. (1988). *La Variedad Colombia: Selecccion de un Cultivar Compuesto Resistente a la Roya del Cafeto* . Chinchina: Cenicafe p. 47-51.
- Castro-Tanzi, S., Flores, M., Warner, N., Dietsch, T., Ureña-Retana, N., Banks, J., & Chandler, M. (2014). "Evaluation of a Non-Destructive Sampling Method and Statistical Model for Predicting Fruit Load on Individual Coffe (*Coffea arabica*) Trees". *Scientia Horticulturae* 167, 117-126.
- CENICAFE. (2001). *Crecimiento del Cafeto en Diferentes Altitudes. Cuantificacion de la Floracion, Cuajamiento y Desarrollo del Fruto en las Subestaciones Experimentales*. Chinchina: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE. Resumen Informe Anual de Actividades Cenicafe.
- Cepeda, F. (1981). *A Propósito de los Modelos sobre Café en Colombia*. *Revista Colombiana de Matemáticas* N°3.
- Cilas, C., & Descroix, F. (2004). "Yield Estimation and Harvest Period". *WINTGENS, J.N Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production*. Weinheim, Alemania: E.d Wiley-VCH p 595-603.

- Conacafe. Consejo Nacional del Cafe. (s.f). *Pronostico de Cosecha en el Cultivo de Cafe*. Honduras. Obtenido de <https://es.slideshare.net/sharemangg/http-conacafeorgestimacion-de-cosecha>
- Dagg, M. (1971). *Water of Requirement of Coffe in Kenya*. Keny Coffe 36 (424).129-151.
- Davis, A., Govaerts, R., Bridson, D., & Stofelen, P. (2006). *An annotated taxonomic conspectus of the genus Coffea (Rubiaceae)*. Bot Jour Linnean Society 152: 465-512.
- De la Cruz, Samaniego, J., & Zurita Rivera, A. (2021). *Efecto de la Fertilizacion Foliar como Complemento en el Rendimiento y Calida en Taza del Cultivo del Cafeto (Coffea arabica L.) Var. Catimor, en la Provincia San Ignacio, Cajamarca*. Lambayeque. Peru.: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Facultad de Agronomia.
- de Oliveira Aparecido, L., de Souza Rolim, G., Camargo Lamparelli, R., de Souza, P., & dos Santos , E. (2017). *Agrometeorological Models for Forecasting Coffee Yield*. Agronomy Journal, 109(1), 249-258. doi:<https://doi.org/10.2134/agronj2016.03.0166>
- Escobar Molina, M. (2017). *Seleccion de Cultivares Promisorios de Café Coffe arabica L. basado en la resistencia de Roya Hemileia vastratix Berk. y Br. in vitro y en Condiciones de Campo en Zonas Cafetaleras de Guatemala C.A*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomia.Instituto de Investigaciones Agronomicas y Ambientales .
- Federación Nacional de Cafeteros. (2010). *Obtenido de Sobre el café, un producto especial: el árbol y el entorno*. Federacion Nacional de Cafeteros. Obtenido de www.federaciondecafeteros.org.

Federacion Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC). (s.f). *Quienes Somos*. Fondo Nacional del Cafe. Pagina Web. Obtenido de <https://federaciondecafeteros.org/wp/federacion/quienes-somos/#:~:text=Promovemos%20el%20consumo%20del%20caf%C3%A9,por%20clientes%20y%20consumidores%20finales>.

Franco, C., & Alvarenga, G. (1981). *Maturacao Fisiologica da Semente do Caffeiro (Coffea arabica L. cv Mundo novo*. Ciencia e Practica.

Fuentelsaz Gallego, C. (2004). *Calculo del Tamaño de la Muestra*. Barcelona: Hospital Universitario Vall d`Hebron.

Galvis G., C. (2003). *Mal Rosado Corticium Salmonicolor Berk. Enfermedades del Cafeto en Colombia*. Chinchina: Cenicafe.

Gil V., L. (2001). *Descripcion de daños ocasionados por Colletotrichum sp. en Flores t Frutos de Cafe en Colombia*. Avances Tecnicos Cenicafe No. 248.

Giomo, G., Mistro, J., Nasser, M., Gallo, P., & Fazuoli, L. (2009). *Efeito do Adensamento na Produtividade de Cultivares do Caffeia arabica L. de Porte Baixo*. Anais Brasilia: Simposio do Pesquisa dos Cafes do Brasil (6: 2009: Vitoria, Es).

Gomez M., O. (2000). *Exceso del Estres Hidrico Sobre la Actividad Fotosintetica en la Planta de Cafe (Coffe arabica L. c.v , Colombia)*. Caldas: Tesis de Grado Ing. Agronomo. Universidad de Caldas.

Gomez, L., Caballero, A., & Baldion, J. V. (1991). *Ecotopos Cafeteros*. Santa fe de Bogota.

Guitierrez M., V., & Meinzer F., C. (1994). *Estimating Water Use and Irrigation Requirements of Coffe in Hawaii*. Journal of American Horticultural of Science 119(3): 652-657.

- Herrera, J. C. (2013). *Taxonomía y clasificación del café*. En *Federación Nacional de Cafeteros de* (Vols. (Vol. 1, pp. 117–121)). Cenicafe. doi: https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_07
- Idol, T., & Youkhana, A. (2020). *A rapid visual estimation of fruits per lateral to predict coffee yield in Hawaii*. . *Agroforest Syst* 94, 81–93. doi:<https://doi.org/10.1007/s10457-019-00370-y>
- Instituto de Desarrollo Rural. (s.f). *Pronostico de Cosecha*. Mendoza. Obtenido de <https://www.idr.org.ar/pronostico-de-cosecha/>
- Jaramillo R. , A. (2003). *La lluvia y Transporte de Nutrimientos Dentro de Ecosistemas de Bosque y Cafetales*. *Cenicafe* 54(2): 134-144.
- Jaramillo R., A. (2005). *Clima Andino y Cafe en Colombia*. Cenicafe 196p.
- Kumar, D. (1979). *Investigation into Some Physiological Aspect of High Density Plants of Coffe (Coffe arabica L.)*. *Kenya Coffe* 44(519) : 47-97.
- Leguizamon C., J. (1997). *La Mancha de Hierro del Cafeto*. *Avances Tecnicos Cenicafe* No. 246.
- Lobell, D., Cassman, K., & Field, C. (2009). *Crop Yield Gaps: The Importance, Magnitudes, and Causes*. In *Annual Review Environment and Reosurces*, Vol. 34. doi:10.1146/annurev.environ.041008.093740
- Machado, A. (1952). *Pronósticos de las Cosecha del Cafeto*. Medellin: Primer Congreso Nacional de Ingenieros Agrónomos.

- McRoberts, R., Tompoo, E., & Czaplewski, R. (1992). *Diseños de Muestreo de Evaluaciones Forestales Nacionales*. FAO.
- Mendoza , R., & Espinoza , A. (2017). *Guia Tecnica para Muestreos de suelo*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services. Programa de Agricultura, Suelo y Agua.
- Mestre M., A., & Salazar A, J. (1990). *La Investigacion Agronomica del cafe en Colombia*. Chinchina: Centro Nacional de Investigaciones de Cafe. Cenicafe. Conferencias Conmemorativas 50 años Cenicafe. .
- Miranda, J., Reinato , R., & Silva, A. (2014). *Modelo Matematico para Previsao da Produtividade do Cafeeiro*. : Revista Brasileira Engenharia Agricola Ambiental, Campina Grade v. 18, n. 4. 353-361.
- Mora, N. (2008). *Agrocadena del Cafe*. Ministerio de Agricultura y Ganaderia, Direccion Regional Huetar Norte.
- Nutman, F. (1993). *The Root System of Coffea arabica L. Root system in Typical soil in British East Africa*. Journal of Experimental Agriculture (1):271-284.
- Oliveros -Bastidas , A., Macias, F., Carrera Fernandez, C., Marin, D., & Molinillo , J. (2009). *Exudados de la raiz y su relevancia actual en las interacciones alelopaticas* (Vols. v. 32, n. 1, pp. 198-213). Química Nova. doi:<https://doi.org/10.1590/S0100-404220090>
- Peñuela Martinez, A., & et al. (2013). *Manual del Cafetero Colombiano*. Chinchina: Federacion Nacional de Cafeteros de colombia-Centro Nacional de Investigaciones del Cafe.

- Quevedo P., H. (1986). *Características Físicas, Químicas y Taxonómicas de los Suelos de la Zona Cafetera*. Bogotá: Fondo Nacional del Café.
- Ramirez B., V., & Jaramillo R., A. (2007). *Distribución de la Luvia en Cuatro Coberturas Vegetales de la Zona Andina*. Investigaciones de Unisarc Bol. 5(1):19-33.
- Ramirez B., V., Arcila P., J., Jaramillo R., A., Rendon S., J., Cuesta G., G., Menza F., H. D., . . . Peña Q., A. (2010). *Floración del Café en Colombia y su Relación con la Disponibilidad Hídrica, Térmica y Brillo Solar*. Cenicafé 61.
- Ramirez B., V., Arcila P., J., Jaramillo R., A., Rendon S., J., Cuesta G., G., Menza F., H., . . . Peña Q., A. (2010). *Floración del Café en Colombia y su Relación con la Disponibilidad Hídrica, Térmica y de Brillo Solar*. Cenicafé 31 (2):132-158.
- Ramirez B., V., Arcila P., J., Jaramillo R., A., Rendon S., J., Cuesta G., G., Menza F., H., . . . Peña Q., A. (2011). *Variabilidad Climática y la Floración del Café en Colombia*. Avances Técnicos Cenicafé No. 407.
- Ramirez B., V., Jaramillo R., A., & Arcila P., J. (2009). *Rangos Adecuados de Café para el Cultivo de Café en Colombia*. Avances Técnicos Cenicafé No. 395.
- Ramos Giraldo, P. J. (2017). *Desarrollo de un Sistema Automático para la Medición de la Masa de Café en Rama a través de Visión en Máquina*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Manizales.
- Ramos, P., Prieto, F., Oliveiros, C., Aleixos, N., Albert, F., & Blasco, J. (2016). *Medición del Porcentaje de Madurez de Ramas de Café Mediante Dispositivos Móviles y Visión por Computador*. Centro Nacional de Investigaciones de Café. CENICAFE.

- Reinato, R. (2012). *Modelo Matematico para Previsao da Produtividade do Cafeeiro*. Alfenas: Dissertacao (Mestrado em Sistemas de Producao na Agropecuaria. Universidaden Jose do Rosario Vellano. UNIFENAS. .
- Rendon S., J., & Montoya, D. F. (2021). *La Densidad de Siembra un Factor Determinante en los Sistemas de Produccion de Cafe*. Manizales. Caldas: Cenicafe. Avance 530.
- Salcedo, C., F., Rodriguez, M., E., & Mejia, J., V. (1988). *Calculo y Estimacion de Cosechas*. Las Agujas, Zapopan: Universidad de Guadalajara, Facultad de Agricultura.
- Suarez de C., F. (1953). *Distribucion de las Raices de Cafeto en un Suelo Franco Limoso*. Boletin Tecnico Cenicafe 1(12)-5-28.
- Unigarro , C., Rendón , J., & Acuña-Zornosa, J. (2021). *Densidad de siembra y fotosíntesis, el motor de la productividad en nuestros cafetales*. Avances Técnicos Cenicafé, 525, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0525>.
- Upreti. G. , H., & Ingamells, J.-L. (1991). *"Rapid Estimation of Coffe Yield"*. San Francisco: In Proc. ASIC 14 Collq.CA. p. 585-593.
- Valencia A., G. (1973). *Factores que Inciden en la Formacion de Granos Negros y Caida de Frutos Verdes del Cafe*. Cenicafe 24 (2).
- Vogel , F. (1985). *Forecasting "Crop Methodology Current and Procedures Futures in the U.S.A"*. held at Amsterdam 12.1-1to 13.1-15: In: Proceedings of the 45th Session of the International Statistical Institute.

Wit. , D., & DE Vries, P. (1982). *L'analyse des Systemes de Production Primaire in: Penning de Vries, F.W.T.;Djiteye, M.A. (Eds.). Wageningen, Pudoc: Le productivite des Paturages Saheliens.(Agr. Res Rep. No. 918).*