



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

**“Evaluación del balance de nutrientes en cacaotales clonales y cacaotales tradicionales,
en las provincias Hermanas Mirabal y Duarte, República Dominicana”**

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y la Escuela de Posgrado
como requisito para optar al grado de**

**MAGISTER SCIENTIAE
en Agroforestería y Agricultura sostenible**

Luis Ezequiel González González

Turrialba, Costa Rica 2020

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA
Y AGRICULTURA SOSTENIBLE**

FIRMANTES:



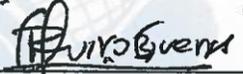
Rolando Cerda, Ph.D.
Codirector de tesis



Frédéric Gay, Ph.D.
Codirector de tesis



Luis Orozco, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



Luis Ezequiel González González
Candidato

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme guiado en este transcurso de mi vida, por fortalecer mi espíritu para seguir adelante y alcanzar mis metas, gracias Dios.

A la MECYST, por concederme la beca para seguir preparándome como profesional y por su confianza para que pueda lograr una nueva etapa de mi vida, gracias por todo el apoyo a nivel financiero.

Al CATIE, por todos los conocimientos enseñados en el proceso de la maestría, por poder compartir con excelentes profesionales y por su hospitalidad.

A la Agropecuaria Tobías González, por confiar en mí y darme todo su apoyo para lograr este sueño.

A mis padres, Luis Felipe González y Mirta González, por su apoyo incondicional para que siga creciendo más en lo profesional, por los buenos valores que me inculcaron y por su confianza para que pueda seguir siendo mejor persona, gracias por estar siempre a mi lado en todo momento.

A mi hermano, Tobías Levi González y a mi cuñada Carolin Mena, por estar en todo el proceso de este proyecto de vida y por los consejos que me fortalecieron para seguir adelante luchando por mis ideales.

A mi novia Lariely Massiel Clemente, por estar siempre cuando más te necesitaba, por tus oraciones, por apoyarme en todo momento, por darme ánimos para realizar mi sueño. Gracias por tu amor incondicional y por creer en mí.

A mis compañeros de maestría, quienes compartimos la ardua tarea de emprender y llevar a feliz término nuestra maestría. Quiero agradecer a mis compañeros Antony Mateo y Jean Carlos Polanco, por estar siempre cuando más lo necesitaba, por ser un gran soporte y por su amistad tan sincera.

A mis miembros del comité, al Ph. D Rolando Cerda, Ph. D Frederick Gay y Ph. D Luis Orozco Aguilar, por todos los conocimientos transmitidos durante en el proceso de la maestría y su acompañamiento en todo el proceso de la tesis. Mi eterno agradecimiento.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	OBJETIVOS.....	3
2.1.	Objetivo general	3
2.2.	Objetivos específicos	3
3.	Marco de referencia.....	3
3.1.	El cultivo de cacao en República Dominicana.....	3
3.1.1.	Materiales locales	5
3.1.2.	Material introducido	5
3.1.3.	Material híbrido introducido.....	5
3.1.4.	Listado de material de clones introducidos.....	5
3.1.5.	Material de siembra	5
3.1.6.	Distancia de siembra.....	6
3.1.7.	Producción de cacao	6
3.1.8.	Rendimiento de cacao en República Dominicana	7
3.2.	Nutrientes para el desarrollo del cacao	8
3.3.	Nutrientes absorbidos en cultivo de cacao	9
3.4.	Manejo nutricional	9
3.5.	Fertilidad del suelo en SAF cacao.....	11
3.6.	Extracción de nutrientes de grano seco de clones de cacao con aplicación de N, P, K 14	
3.7.	El ciclo de la materia orgánica en SAF con cacao	15
3.8.	Balance de nutrientes en Agroecosistemas	17
4.	METODOLOGÍA.....	18
4.1.	Descripción del área de estudio.....	18
4.2.	Selección de sistemas (tratamientos) y parcelas de estudio (repeticiones).....	19
4.3.	CARACTERIZACIÓN DE LOS SAFs CACAO	20
4.3.1.	Caracterización de la fertilidad	20
4.3.1.2.	Densidad aparente del suelo.....	21
4.3.2.	Caracterización de la estructura agroforestal.....	22
4.3.3.	Caracterización del manejo.....	22
4.3.4.	Cálculos de existencias de nutrientes.....	22
4.3.4.1.	Procedimiento para el cálculo de existencia de nutrientes de N, P, K.....	22

4.3.5.	ESTIMACIÓN DE ENTRADAS	23
4.3.5.1.	Entrada de nutrientes que aportan los abonos orgánicos	23
4.3.5.2.	Estimación por entrada de lluvia.....	23
4.3.5.3.	Estimación por entrada de árboles leguminosos	23
4.3.6.	ESTIMACIÓN DE LAS SALIDAS	24
4.3.6.1.	Salidas de nutrientes en cacao en grano vendido	24
4.3.6.2.	Salidas de nutrientes por la cáscara de cacao	24
4.3.6.3.	Salidas de nutrientes por bananos	24
4.3.6.4.	Salidas de nutrientes por frutales	25
4.3.7.	CÁLCULO DE BALANCE DE NUTRIENTES	25
5.	ANÁLISIS DE DATOS	26
6.	RESULTADOS	26
6.1.	Caracterización de la fertilidad de los sistemas agroforestales	26
6.2.	Caracterización de la estructura agroforestal de los cacaotales	28
6.3.	Caracterización del manejo agroforestal de los cacaotales	30
6.4.	Rendimiento de los cacaotales clonales y tradicionales.....	32
6.5.	Existencias de nutrientes N, P, K en los sistemas agroforestales.....	33
6.6.	Entradas de nutrientes de los sistemas agroforestales.....	35
6.7.	Salidas de nutrientes N, P, K en los sistemas agroforestales	36
6.8.	Balance de nutrientes de los sistemas agroforestales	38
6.9.	Balance de nutrientes con objetivo de 1016 kg/ha/año.....	40
6.10.	Relación del balance de nutrientes con el rendimiento de cacao (kg/ha) de los sistemas agroforestales clonales y tradicionales	42
7.	DISCUSIÓN.....	47
7.1.	Fertilidad y existencia de nutrientes en los sistemas agroforestales y tradicionales..	47
7.2.	Entradas de nutrientes de los sistemas agroforestales.....	49
7.3.	Salidas de nutrientes de los sistemas agroforestales	50
7.4.	Balance de nutrientes de los sistemas agroforestales	51
7.5.	Implicaciones del estudio para la cacaocultura dominicana y regional	52
8.	CONCLUSIONES.....	53
9.	RECOMENDACIONES	54
10.	BIBLIOGRAFÍA	55
11.	ANEXOS	60

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.Regiones productoras de cacao en República Dominicana	4
Cuadro 2.De distancia de siembra	6
Cuadro 3.De producción toneladas métricas, sabor de cacao fino y fermentado	7
Cuadro 4.Rendimiento promedio de cacao según edad de la plantación.....	7
Cuadro 5.Extracción y requerimientos de nutrientes para producción de cacao	8
Cuadro 6.Extracción y requerimientos de nutrientes para producción de cacao	8
Cuadro 7. Nutrientes absorbidos por una tonelada métrica de almendras de cacao seco y fermentado de la variedad Nacional	9
Cuadro 8.Niveles de los diferentes elementos para clasificar el estado nutricional de un suelo para cacao	10
Cuadro 9.Niveles de los diferentes elementos para clasificar el estado nutricional de un suelo para cacao.	11
Cuadro 10.Estimado de fertilizantes para aplicación en el suelo, en kg/ha.....	13
Cuadro 11.Rendimiento de cacao a diferentes niveles de fertilización.	14
Cuadro 12.Extracción de nutrientes en kg/1000 kg de grano seco de clones de cacao con aplicación de N, P, K	15
Cuadro 13.Contenido de N, P y compuestos de carbono presentes en las hojas de las especies en estudio en Alto Beni, Bolivia.....	16
Cuadro 14.Condiciones geoclimáticas del área de estudio.....	19
Cuadro 15.Sistemas seleccionados para analizar el balance de nutrientes en la provincia Hermanas Mirabal y provincia Duarte, República Dominicana.....	20
Cuadro 16.Cantidad de nutrientes de abonos orgánicos (en porcentaje %)......	23
Cuadro 17.Extracción de nutrientes por un kilogramo de cacao seco	24
Cuadro 18.Contenido de nutrientes (kg) en las cáscaras de cacao.	24
Cuadro 19. Contenido de nutrientes por racimo kg	24
Cuadro 20. Contenido de nutrientes en kg por cada kg de fruta.....	25
Cuadro 21.Fertilidad de suelo de los sistemas agroforestales de cacao clonal y tradicional....	27
Cuadro 22. Estructura de los sistemas agroforestales cacao clonal y tradicional.....	29
Cuadro 23. Insumo de aplicación de abonos orgánicos de los sistemas agroforestales de cacao clonal y tradicional.....	30
Cuadro 24. Prácticas realizadas en los sistemas agroforestales de cacao clonal y tradicional .	31
Cuadro 25. Rendimientos de los SAF clonales y tradicionales	32
Cuadro 26. Existencias de nutrientes N, P, K disponible en el suelo (kg/ha).....	34
Cuadro 27.Entradas de nutrientes N, P, K (kg/ha) en los sistemas agroforestales	35
Cuadro 28.Salida de nutrientes N, P, K (kg/ha) en los sistemas agroforestales	37
Cuadro 29. Balance de nutrientes actual.....	39
Cuadro 30. Balance de nutrientes con objetivo de 1016kg/ha/año.....	41
Cuadro 31. Caracterización de los SAFs	43
Cuadro 32. Caracterización de los SAFs	44
Cuadro 33. Caracterización de los SAFs	46

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Mapa de República Dominicana, indicando las diferentes regiones productoras de cacao.	4
Figura 2. Factores que condicionan la fertilidad del suelo. Fuente: Pisco 2017.....	12
Figura 3. Modelo de entradas y salidas y balance de nutrientes en sistemas agroforestales con cacao. Fuente: Frederic Gay 2019.	17
Figura 4. Mapa de las provincias Hermanas Mirabal y Duarte.	18
Figura 5. Modelo de recolección de las 12 submuestras de suelo. Fuente: Cerda Bustillos 2008.	21
Figura 6. Existencia, entradas y salidas N	43
Figura 7. Existencia, entradas y salidas P	44
Figura 8. Existencia, entradas y salidas K	45
Figura 9. Balance de nutrientes N, P, K.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS

CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
ICCO	Organización Internacional del Cacao
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FEDECACAO	Federación Nacional de Cacaoteros
SAFS	Sistemas Agroforestales
QQ	Quintales
KG	Kilogramo
KG/Ha.	Kilogramo por Hectárea
N	Nitrógeno
P	Fósforo
K	Potasio
N/ha	Nitrógeno por Hectárea
P/ha	Fósforo por Hectárea
K/ha	Potasio por Hectárea

RESUMEN

Se analizó la fertilidad de suelos y el balance de nutrientes en sistemas agroforestales clonales y tradicionales de cacao en zonas importantes del cultivo en República Dominicana. Se caracterizó el manejo agronómico (aplicaciones de insumos, prácticas) y su estructura agroforestal (identificación de especies, densidades, diámetros de tronco, área basal, biomasa), se estimó el rendimiento de cacao y de otros productos agroforestales (frutas), y se midió la fertilidad del suelo (pH, materia orgánica, N, P, K, textura, densidad aparente, 30 cm de profundidad). Para el balance de nutrientes se estimaron las principales entradas y salidas de N, P, K al/del sistema. Se utilizó estadística descriptiva y análisis de varianza univariados para comparar dichas variables entre los sistemas. Los resultados obtenidos demostraron que los suelos, en general, tienen buen contenido de materia orgánica y densidad aparente adecuada; sin embargo, la fertilidad química no es óptima, debido a que las existencias de N, P, K no alcanzan los requerimientos del cacao en producción sugeridos por literatura técnica y científica. El balance de nutrientes (entradas – salidas), para N y P fue mejor (positivos) en los sistemas tradicionales gracias a que en éstos se aplican cantidades importantes de abonos orgánicos; mientras que en los sistemas clonales también se aplican, pero en cantidades mucho menores (balance de N y P negativos). Otra característica importante que contribuye especialmente al N, es la mayor presencia de árboles leguminosos en los sistemas tradicionales. Los rendimientos de cacao más altos se encontraron en los sistemas tradicionales de 10 años (1000 kg cacao seco/ha/año) y coincide con su manejo adecuado e incorporación de abonos. El manejo en cuanto a prácticas culturales en sistemas clonales también es adecuado, pero se debería mejorar la entrada de nutrientes (abonos, especies leguminosas) para incrementar sus rendimientos. En esta investigación se destaca como uno de los hallazgos más importantes que el K fue el nutriente más crítico a considerar, ya que en todos los sistemas sus existencias en el suelo están muy por debajo de los requerimientos y su balance fue el más negativo entre todos los nutrientes. El K es el más importante para la etapa productiva (formación de frutos), por tanto, se debe poner atención en nivelarlo y buscar fuentes de este nutriente (abonos u otro tipo de fertilizantes) que estén al alcance de los productores. Con base en los resultados, esta investigación también derivó recomendaciones técnicas para mejorar el manejo de suelos cacaoteros.

Palabras claves: agroforestería, fertilidad, abonos orgánicos, nitrógeno, potasio.

ABSTRACT

Soil fertility and nutrient balance were analyzed in clonal and traditional cocoa agroforestry systems in important areas of cultivation in the Dominican Republic. Agronomic management (applications of inputs, practices) and its agroforestry structure (identification of species, densities, trunk diameters, basal area, biomass) were characterized, the yield of cocoa and other agroforestry products (fruits) was estimated, and measured soil fertility (pH, organic matter, N, P, K, texture, apparent density, 30 cm deep). For the nutrient balance, the main inputs and outputs of N, P, K to / from the system were estimated. Descriptive statistics and univariate analysis of variance were used to compare these variables between the systems. The results obtained showed that the soils in general have a good content of organic matter and adequate apparent density; However, the chemical fertility is not optimal because the N, P, K stocks do not reach the cocoa requirements in production suggested by technical and scientific literature. The nutrient balance (inputs - outputs) for N and P was better (positive) in traditional systems thanks to the fact that significant amounts of organic fertilizers are applied to them; while in clonal systems they are also applied, but in much smaller quantities (negative N and P balance). Another important characteristic that contributes especially to N is the greater presence of leguminous trees in traditional systems. The highest cocoa yields were found in the traditional 10-year systems (1000 kg dry cocoa / ha / year) and coincide with their proper management and incorporation of fertilizers. Management in terms of cultural practices in clonal systems is also adequate, but the input of nutrients (fertilizers, legume species) should be improved to increase their yields. In this research, it stands out as one of the most important findings that K was the most critical nutrient to consider: in all systems, its stocks in the soil are well below the requirements and its balance was the most negative among all nutrients. . K is the most important for the productive stage (fruit formation), therefore, attention should be paid to level it and look for sources of this nutrient (fertilizers or other types of fertilizers) that are within the reach of producers. Based on the results, this research also derived technical recommendations to improve the management of cocoa soils.

Keywords: agroforestry, fertility, organic fertilizers, nitrogen, potassium.

1. INTRODUCCIÓN

El cacao, en República Dominicana, es uno de los principales rubros de exportación de productos orgánicos. Actualmente, es el líder mundial de cacao orgánico, cuya exportación alcanzó los US\$ 261 millones en 2015, presentando un 60% del volumen de exportación mundial (Batista 2009).

El país registra un total de 150 000 ha de cacao a cargo de 40 000 productores con 36 236 fincas registradas, el 16.5% de las cuales son de producción de cacao orgánico. Por otro lado, la calidad del cacao que se produce en el país, se considera unos de los mejores a nivel internacional, resaltándose que el 40% de la producción nacional de cacao es vendido como “fino”, de acuerdo con el comité especializado de la Organización Internacional del Cacao, presenta una potencialidad de llegar al 70% (ICCO 2015).

En República Dominicana más del 90% del material genético cultivado es cacao fino o de aroma. Por tanto, el cacao Hispaniola es “fino o de aroma” (de alta calidad) y el cacao Sánchez es procesado y exportado, no fermentado, lo que no desarrolla cualidades de “fino o de aroma” (Matlick *et al.* s. f.).

La mayoría de los productores en República Dominicana, están agrupados en cooperativas y asociaciones que venden el cacao a exportadores o lo exportan directamente al mercado internacional. Dentro de las principales empresas comercializadoras de cacao están RIZEK CACAO S: A: S, ROIG Agro cacao, COOPNACADO, Coopcanor, Cooproagro, Munne, Yacao, Biofcaico, Cortes Hnos, Aprocaci, entre otras (Batista 2009).

El suelo es considerado como uno de los principales pilares de la producción ecológica. Se debe mencionar que el suelo es un sistema complejo con propiedades físicas, químicas y biológicas que son de gran importancia para el desarrollo de los cultivos (Pomares 2008). Es fundamental decir que uno de los servicios ecosistémicos más importante del suelo es su fertilidad, la cual es fija por la naturaleza, por los componentes que se forman y esto cambian debido a las modificaciones físicas, químicas y biológicas que se producen de forma constante (Lesur 2006 citado por Alemán *et al.* 2017).

El cacao es un cultivo que tiene la facilidad de adaptarse en diferentes tipos de suelo. Un suelo se considera apropiado para el cultivo cuando presenta una buena capacidad de retención de humedad, buena aireación, buen drenaje, con un espacio radical de 1.0 m de profundidad en la capa superior donde las raíces se puedan desarrollar en condiciones normales (López *et al.* 2017). El suelo presenta grandes reservas de nutrientes, aunque no todos están disponibles para las plantas, especialmente el N y P. En los terrenos donde se cultiva el cacao asociados con árboles (Lutheran World Relief 2013). En República Dominicana se pueden observar las características de los suelos que están dedicados al cultivo de cacao, de los cuales se puede encontrar Inceptisoles, Vertisoles o más bien, una asociación de ambos, por otro lado, se encuentra Udisoles y Entisoles presentando texturas que van desde franco arcilloso a franco (López *et al.* 2017).

En los valores promedio nacional de los suelos dominicanos utilizados en cacao, se pueden observar que el P, S, Zn se localizan en concentraciones que van desde muy bajo a medio, con

valores de 10.0 ppm, 2.0 ppm y 8.0 ppm. Es importante mencionar que el porcentaje de materia orgánica y las concentraciones de K, Mg, Ca alcanzan niveles altos, con valores de 3.2%, 0.3 meq/ 100 ml de suelo, 4.3 ppm y 18.0 ppm de Ca, con un pH 6.9 (López *et al.* 2017).

La fertilidad del suelo en las plantaciones de cacao se mantiene por medio del reciclaje de nutrientes, mediante la caída de las hojas y la descomposición de la hojarasca (Dawoe *et al.* 2010). Por lo que la investigación con respecto al ciclo de nutrientes de los sistemas agroforestales de cacao en diferentes regiones del mundo se ha aumentado para entender mejor los sistemas y hacer evaluaciones sobre los fertilizantes (Hartemink 2005).

El principal problema que limita la producción de cacao es el bajo rendimiento 390-450 kg/ha debido a diferentes factores como son: la mala selección varietal, poca fertilización, mal manejo en las prácticas de poda, exceso de sombra y de humedad, las edades avanzadas de las plantaciones y control de plagas (López *et al.* 2017).

La mayoría de los productores no realizan un manejo adecuado de sombra y poda, lo que origina condiciones favorables para el desarrollo de plagas. Otro aspecto fundamental que afecta el rendimiento de las plantaciones es la falta de fertilización y la extracción permanente de nutrientes por parte de las plantas de cacao y árboles de sombra que agotan la disponibilidad de los mismos en el suelo, por lo que se requiere aplicación de abonos orgánicos (Batista 2009). Es de suma importancia mencionar que cuando se identifican las deficiencias nutricionales, se acude a la práctica de fertilización con el objetivo de lograr un buen desarrollo y rendimiento de los cultivos. No obstante, que la respuesta de las plantas va a depender de las condiciones edáficas, el material vegetal y el medio que las rodea (Puentes-Páramo *et al.* 2016).

Por otro parte, cuando se hace referencia al balance de nutrientes éste consiste en la diferencia entre la cantidad de nutrientes que entran y que salen de un agroecosistema o unidad productiva determinada (Pomares 2008). Esta definición permite estimar balances nutricionales de una parcela en una campaña agrícola a partir de los nutrientes que se extraen en el suelo en los productos cosechados (granos, forrajes, frutos, etc.) o más bien, en los productos animales, así como en los restos de residuos de cultivos. Sin embargo, el éxito de un sistema agroforestal va a depender del manejo adecuado del sistema de acuerdo con la selección de los cultivos y los árboles que conforman el SAF y del equilibrio entre las entradas y salidas de los nutrientes (Lutheran World Relief 2013).

Esta investigación es fundamental porque permite observar la importancia de estimar el balance de nutrientes a nivel de la parcela para así conocer los balances positivos y negativos que presentan las fincas. Los cuales provocan una reducción en la fertilidad de los suelos generando una disminución en la productividad y a la vez degradando el recurso del suelo. Esto permitirá tomar las medidas necesarias (incorporación de abonos orgánicos, duplicar las aplicaciones y frecuencias por año) para mejorar las deficiencias de nutrientes que se presentan, con el fin de producir un equilibrio nutricional y a la vez, aumentar la producción de los sistemas agroforestales de cacao.

El objetivo de esta investigación en los SAFs cacao orgánico en las provincias Hermanas Mirabal y Duarte, es evaluar la caracterización de los sistemas de manejo, el balance de

nutrientes y el análisis de la fertilización orgánica, permitirán conocer si presentan balances positivos o negativos, lo que ayudara a demostrar o presentar mejores argumentos de acuerdo a la sostenibilidad de estos sistemas agroforestales. Del mismo modo, es importante analizar el suelo, lo cual favorecerá a desarrollar recomendaciones para mejorar el manejo y la sostenibilidad de los cacaotales.

En lo que respecta a balance de nutrientes en SAFs Cacao en República Dominicana no hay información, por lo cual esta investigación pretende aportar información veraz a los productores cacaotaleros de la zona y el sector cacao del país.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Analizar la fertilidad, las entradas y salidas de nutrientes en SAF cacao clonales y SAF cacao híbridos tradicionales.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la fertilidad, la estructura y manejo de SAF cacao clonales y SAF cacao tradicionales de diferentes edades y tipos de sombra.
- Estimar las entradas y salidas de nutrientes de SAF cacao clonales y SAF tradicionales.
- Comparar el balance de nutrientes entre los tipos de SAF evaluados.
- Relacionar el balance de nutrientes con la producción y beneficios de dosel de sombra.

3. Marco de referencia

3.1. El cultivo de cacao en República Dominicana

El cacao en República Dominicana fue introducido por España como cultivo a sus territorios del Caribe, Santo Domingo, Trinidad y otros a principios del 1600, pero no con mucha dedicación. Los franceses lo promovieron con mucho éxito, con nuevas introducciones luego del año 1665. A través del tiempo, el cacao se consume principalmente en forma de bebida en la cual se fue haciendo popular en Europa, esto permitió un desarrollo rápido a la demanda, el mercado y sobre todo la importancia del cultivo (Batista 2009). De acuerdo Matlick *et al.* (s.f.), el mercado para el cacao dominicano, es el de exportación, ya sea para la Hispaniola (cacao orgánico es el que luego de su recolección recibe un proceso de fermentación) como para el Sánchez (se define como el producto que se presenta en condiciones naturales, desde su recolección, corte y llevado al secado, no recibe ningún tipo de transformación y no es fermentado). En los años 2014-2015 se registraron un total de exportaciones de 80 toneladas métricas, presentando un precio promedio para el cacao fermentado de \$3,048 por tonelada y para el cacao no fermentado un precio de \$150 menos por tonelada.

República Dominicana registra 1,585,300 ha bajo cubierta forestal, la cual el área de siembra de cacao ocupa 152,261.56 ha, un 9.6% mientras que el área forestal cubre un 33% del total (Batista 2009). A continuación, se presenta un mapa que muestra las diferentes regiones productoras de cacao (Figura 1). Batista (2009), expresa que en República Dominicana, las principales zonas de producción son: la región Nordeste donde se concentra la mayor producción con un 61%, la región Este 13%, la Central con 10%, la Norte un 9%, y la Norcentral un 7% (Cuadro1).

Principales zonas de producción de cacao República Dominicana 2019

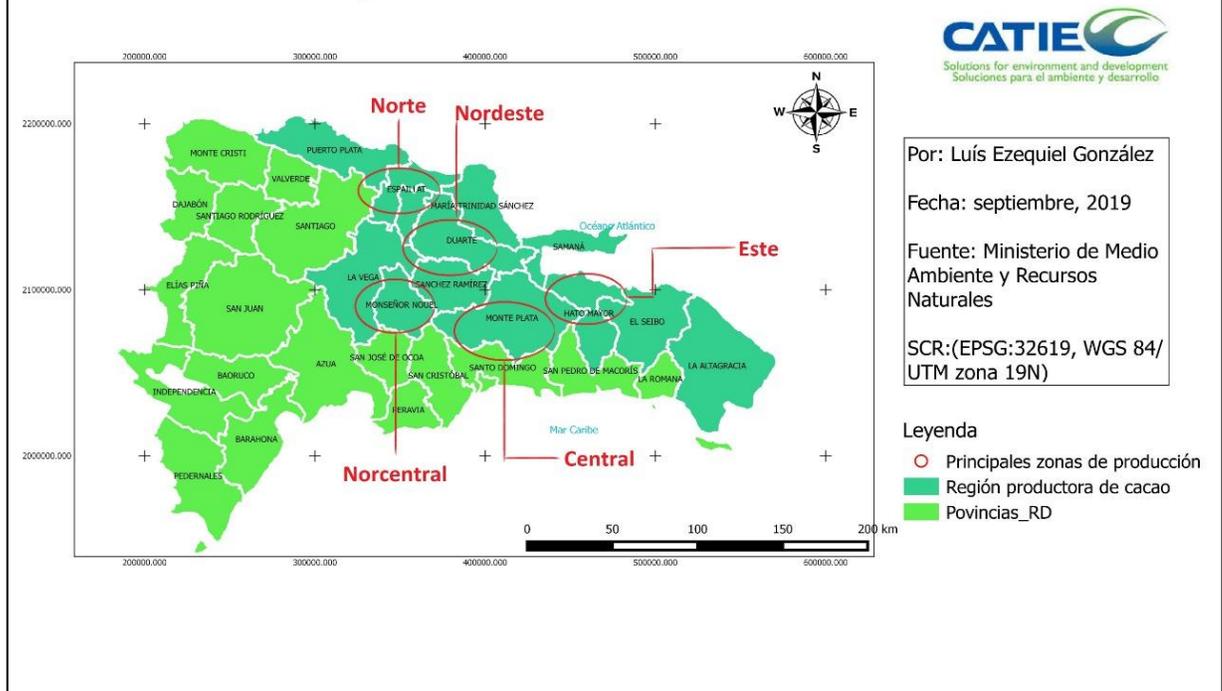


Figura 1. Mapa de República Dominicana, indicando las diferentes regiones productoras de cacao.

Cuadro 1. Regiones productoras de cacao en República Dominicana

Lugar	Hectáreas	Producción en quintales (QQ)	Producción en tonelada
Región Nordeste	93,187.55	1,089,375	108,937.5
Región Este	18,500	217,624.239	21,762.4239
Región Central	15,516	182,696.892	18,269.6892
Región Norte	14,500	170,517.099	17,051.7099
Región Norcentral	6,375	111,946.625	11,194.6625
Total		1,772,159.86	177,215.986

Fuente: Batista 2009.

3.1.1. Materiales locales

A inicio de los años 80 se empezó a seleccionar en el país fincas de productores de cacao con el objetivo de evaluar los diferentes árboles de cacao en cuanto el vigor, rendimiento y tolerancia a la enfermedad de la mazorca negra (*Phytophthora*). Entre los materiales se hallan los siguientes: ML- 3, ML-4, Genoveva-5, ML-16, ML-22, ML-46, ML-59, ML-64, ML-66, ML67, ML-70, ML-71, ML-75, ML102, ML-103, ML-105, ML-106 y ML-107. Estas selecciones se consideran sobresalientes, hoy día son la fuente principal para la producción de plantas de altos atributos genéticos para rendimiento, calidad y resistencia en los diferentes países productores (López *et al.* 2017).

3.1.2. Material introducido

Las primeras semillas de cacao que fueron introducidas por los españoles en la República Dominicana provenían de Venezuela a partir de una mezcla de los cacaos criollos venezolanos. Por otro lado, se plantaron semillas de cacao trinitario de origen desde Trinidad y Venezuela, también se realizó importación de semillas de cacao Nacional del Ecuador y del amelonado (López *et al.* 2017).

3.1.3. Material híbrido introducido

En el país, la primera siembra de material que se realizó fue en el año 1962 con la introducción de seis híbridos procedentes de Trinidad. Es importante mencionar estos híbridos que son los siguientes: IMC-67 X TSH-565, IMC-67 X, TSA-644, IMC-67 X SCA-6, TSA-644 X IMC-67, IMC-67 X PA-218, IMC-67 X TSA-655 (Batista 2009).

3.1.4. Listado de material de clones introducidos

En República Dominicana, en la década de 1970, se introdujeron clones procedentes de diferentes lugares. La mayoría de los materiales son de altos rendimiento y calidad. En el país, una gran variedad de clones introducidos de los cuales podemos encontrar los siguientes: UF-29, UF-221, UF-242, UF-296, UF-613, UF-668, UF-676, UF-168, ICS-1, ICS-8, ICS-39, ICS-40, ICS-60, ICS-95 R-2, R-15, R-52, R-75, R-117, SIC-1, SIC-2, SIAL-93, SIAL-98, SIAL-325, Catongo, entre otros (Batista 2009).

3.1.5. Material de siembra

El material de siembra utilizada en República Dominicana, se adquiere a través de dos calificaciones: la primera, por siembra con semilla certificada, obtenidos por el buen comportamiento de los materiales de polinizaciones controladas y la segunda, por material clonal, que puede ser por métodos de propagación vegetativa como injertos y estacas, siendo los injertos la más utilizada (López *et al.* 2017).

Dentro de las ventajas de la reproducción por semilla, se encuentra que se facilita el transporte del material de siembra, son económicas y accesibles para los productores, no adquieren de podas constante. Por otra parte, las desventajas que proveen son: producen plantaciones

heterogéneas, los árboles son más altos por lo que, afectan las labores de control fitosanitario y la producción es más tardía que la reproducidas por vía vegetativa. En cuanto las ventajas por material clonal: mantiene la genética de los sucesores (incluyendo la resistencia a enfermedades, calidad y la productividad), su producción es más temprana que la propagada por semilla, los materiales propagados conservan sus características. No obstante, las desventajas que presentan son: el costo y manejo del material de siembra, el establecimiento y manejo de las plantaciones es más difícil, por lo que requiere mayor especialización de la mano de obra (López *et al.* 2017).

3.1.6. Distancia de siembra

Las densidades de siembra más utilizadas en República Dominicana son de 40 a 70 plantas/tarea y 1,120 plantas/ha, mientras que el cacao nativo esta entre 25 y 40 plantas/tarea (400 y 640 plantas/ha), dichas densidades deben tener unos distanciamientos de 2.5 x 2.5m, 3 x 3m y 4 x 4m (Batista 2009).

Cuadro 2.De distancia de siembra

Densidad	Distancia	Número de plantas/ha
Alta	2.5 x 2.5m	1,600 plantas/ha
Media	3 x 3m	1,111 plantas/ha
Baja	4 x 4m	625 plantas/ha

Fuente: Matlick

3.1.7. Producción de cacao

República Dominicana se encuentra dentro de los 10 países de mayor producción, donde representan el puesto número 10 con una producción de 73,712 toneladas métricas (Batista 2009). Según Matlick *et al.* (s. f.). El país representa en la oferta mundial un caso único, ya que el 100% de los granos que se cultivan son de calidad genética fino o de aroma, las exportaciones llegaron a 70, toneladas el año pasado, por otro lado, alrededor del 40% del cacao pasa por el proceso de fermentación después de la cosecha y antes de la exportación, lo que permite el desarrollo del perfil de sabor fino o de aroma. El mercado de exportación es de cacao fino o de aroma, República Dominicana contiente con Ecuador y Perú (cuadro 3).

Cuadro 3. De producción toneladas métricas, sabor de cacao fino y fermentado

Países	Producción total (tm)	Pronostico a 10 años (tm)	Sabor fino y fermentado	% de cacao que es de sabor fino
Ecuador	250,000	400,000	75%	75%
Perú	82,000	120,000	90%	90%
República Dominicana	82,000	120,000	40%	100%

Fuente: Matlick.

3.1.8. Rendimiento de cacao en República Dominicana

El rendimiento del cacao está relacionado en función a la calidad genética del material de siembra (mayor número de mazorcas por árbol, cantidad de granos por mazorcas y pesos del grano), el tipo de suelo (pH 5.1-7, contenido de materia orgánica 3-7%), las condiciones del medio ambiente (temperatura 25) y el manejo que se aplica en las fincas (las diferentes prácticas que se realizan en las plantaciones). En el Cuadro 4, se observa el rendimiento de los cacaos híbridos mejorados según la edad de la plantación.

Cuadro 4. Rendimiento promedio de cacao según edad de la plantación

Edad de la planta.	Mazorcas por árbol	Libras por		Kilogramos por	
		plantas	hectárea	planta	hectárea
3 años	15	1.50	1,584.00	0.68	718.08
4 años	25	2.50	2,640.00	1.14	1,203.84
5 años	35	3.50	3,696.00	1.60	1,689.60
6 años	40	4.00	4,224.00	1.81	1,911.36
7 años	45	4.50	4,752.00	2.04	2,154.24
8 años	50	5.00	5,280.00	2.27	2,397.12
9 años	55	5.50	5,808.00	2.50	2,640.00
10 años	60	6.00	6,636.00	2.73	2,882.88

Fuente: Batista 2009.

3.2. Nutrientes para el desarrollo del cacao

Para el cultivo de cacao, las plantas tienen necesidades nutricionales de acuerdo con el estado de desarrollo, es decir, para su crecimiento, floración y producción. En la etapa de vivero, las plantas de cacao necesitan mayor cantidad de K junto al N, Ca y P. También para la etapa de desarrollo es necesario que tengan una alta cantidad de K, N, Ca y P. Por otro lado, en la etapa de producción del cacao es importante mencionar que las plantas necesitan una mayor cantidad de todos los elementos principalmente el K, N, Ca, P, Mn y S (Lutheran World Relief 2013). A continuación, se presenta un cuadro de los requerimientos de nutrientes en diferentes estados de desarrollo de cacaotales (cuadro 5 y 6).

Cuadro 5. Extracción y requerimientos de nutrientes para producción de cacao

Estado	Edad (meses)	Requerimiento nutricional (Kg/ha)						
		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn
Vivero.	5-12	2.4	0.6	2.4	2.3	1.1	0.04	0.01
Establecimiento.	28	135	14	156	113	47	3.9	0.5
Inicio producción	39	212	23	321	140	71	7.1	0.9
Plena producción	50-90	438	48	633	373	129	6.1	1.5

Fuente: Cocoa growers ´ bulletin, 1980; Luis Antonio Mejía, 2000.

Cuadro 6. Extracción y requerimientos de nutrientes para producción de cacao

Estado del cultivo	Edad (meses)	Requerimiento nutricional (Kg/ha)						
		N	P	K	MgO	CaO	Mn	Zn
Vivero.	5-12	2.5	1.4	3.0	1.9	3.3	0.04	0.01
Campo:								
Inmadura	28	140	33	188	80	163	4.0	0.5
Primera producción	39	219	54	400	122	203	7.3	0.9
Madura	50-87	453	114	788	221	540	7.0	1.6

Fuente: Thong et al 1978; Wessel citado por Garro 2010.

3.3. Nutrientes absorbidos en cultivo de cacao

De acuerdo con Amores *et al.* (2009), los nutrientes absorbidos en el cultivo de cacao por una tonelada métrica de almendras de cacao Nacional fermentado y seco, explica que la gran cantidad de nutrientes que se encuentran en las cascara de la mazorca, está obligada a retornar al cultivo con la finalidad de que el cacao se beneficie de los nutrientes que contiene (Cuadro 7).

Cuadro 7. Nutrientes absorbidos por una tonelada métrica de almendras de cacao seco y fermentado de la variedad Nacional

	Kg/ha							g/ha			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn
Cáscara	9.1	2.5	39.4	8.7	4.3	1.5	28.8	35.9	8.8	32.5	58.7
Almendras	15.8	7.3	8.9	3.6	3.7	1.2	20.6	33.8	16.8	50.3	17.6
Placenta	0.4	0.1	0.7	0.2	0.1	0.0	0.9	0.7	0.4	3.5	0.4
Total	25.3	9.9	48.9	12.5	8.1	2.7	50.4	70.4	25.9	86.2	76.6

Fuente: Amores *et al.* 2009.

3.4. Manejo nutricional

Es necesario incluir un plan de fertilización en los primeros cinco años para el desarrollo del cultivo y luego de establecerse, es importante mantener esa tasa de absorción por el resto de vida útil de la plantación. En general, el K es el nutriente más absorbido por el cacao, seguido por el N, Ca y Mg. La cantidad de nutrientes absorbidos por un cultivo va a depender del estado nutricional del árbol (López *et al.* 2015). Por otra parte, es importante conocer la fertilidad del suelo para eso es fundamental realizar un análisis de suelo con el fin de saber el estado actual del suelo y a la vez realizar un mejor manejo sostenible en cuanto la fertilización del cultivo (Batista 2009). A continuación, se muestran dos estudios de los niveles de los diferentes elementos para clasificar el estado nutricional de un suelo para cacao (Cuadro 8 y 9).

Cuadro 8. Niveles de los diferentes elementos para clasificar el estado nutricional de un suelo para cacao

Parámetro	Rango de fertilidad relativa		
	Alto	Medio	Bajo
pH (en agua 1:2.5)	7.6 - 6.5	6.4-5.1	< 5.0
Materia Orgánica (combustión húmeda)	>6.1	6	< 3.0
Nitrógeno total % (Kjeldahl)	> 0.41	0.40-0.16	0.2
Relación C/N	9.5-10.4	15.5-10.5	> 15.6 ó < 9.4
Fósforo P ppm (Mehlich)	> 16	15-6	< 5
Fósforo P /ml (Olsen modificado)	> 21	20-12	< 12
Fósforo "disponible" P ₂ O ₅ ppm (Truog)	> 120	119-21	< 20
Potasio intercambiable meq/100 g (Acetato de Amonio 1N, pH, 7.0)	> 0.41	0.40-0.16	< 0.15
Potasio extraíble, meq/100 ml (Olsen modificado)	> 0.41	0.40-0.21	< 0.20
Azufre S-SO ₄ /ml (Fósforomonocálcico 500 ppm P)	> 21	20-13	< 12
Calcio intercambiable meq/100 g (Acetato de Amonio 1N, pH, 7.0)	> 18.1	18.1-4.1	< 4
Calcio Extraíble, meq/100 ml (Cloruro de potasio 1N)	> 4.1	2-Apr	< 2
Magnesio intercambiable meq/100 g (Acetato de amonio 1N, pH, 7.0)	> 4.5	4.4-09	< 0.8
Magnesio extraíble meq/100 ml (Cloruro de potasio 1N)	> 2.1	2.0-0.8	< 0.8
Capacidad de intercambio de cationes meq/100 g (Acetato de Amonio, 1N, pH 7.0)	> 30.1	30-12.1	< 12
Saturación de aluminio % (KCL 1N)	0.1	11-25	< 26
Aluminio meq/100 ml (Klc 1N)	< 0.3	0.31-1.50	> 1.51

Fuente: Enríquez 1985.

Cuadro 9. Niveles de los diferentes elementos para clasificar el estado nutricional de un suelo para cacao.

	Parámetro	Unidad	Medio
Macronutrientes	pH (H ₂ O)		5.1-7.0
	C org	%	1.7-3.2
	N total	%	0.2-0.4
	C/N		9.5-15.5
	P avail. (Mehlich)	ppm	6.0-15.0
	P avail. (Olsen)	ppm	12.0-25.0
	K (Ac. Am. pH 7)	me/100g	0.2-1.2
	Ca (Ac. Am. pH 7)	me/100g	4.0-18.0
	Mg (Ac. Am. pH 7)	me/100g	0.9-4.0
	Al (Ac. Am. pH 7)	me/100g	0.1-1.5
	CEC (Ac. Am. pH 7)	me/100g	12-30
Micronutrientes	Fe (Mehlich)	ppm	19-45
	Mn (Mehlich)	ppm	3-12
	Cu (Mehlich)	ppm	0.4-1.8
	Zn (Mehlich)	ppm	0.5-2.2
	B (Hot water)	ppm	0.16-0.90

Fuente: Snoeck et al. 2016.

3.5. Fertilidad del suelo en SAF cacao

El concepto de la fertilidad del suelo consiste en el conjunto de condiciones que establecen la capacidad de producción de un campo, donde se incluye la oferta ambiental y la capacidad de producción del material vegetal, también es una medida de la riqueza nutricional del suelo. La fertilidad del suelo (Figura 2), lo conforman distintos aspectos como son: las propiedades físicas, las químicas y las biológicas que interactúan entre sí (Pisco 2017).

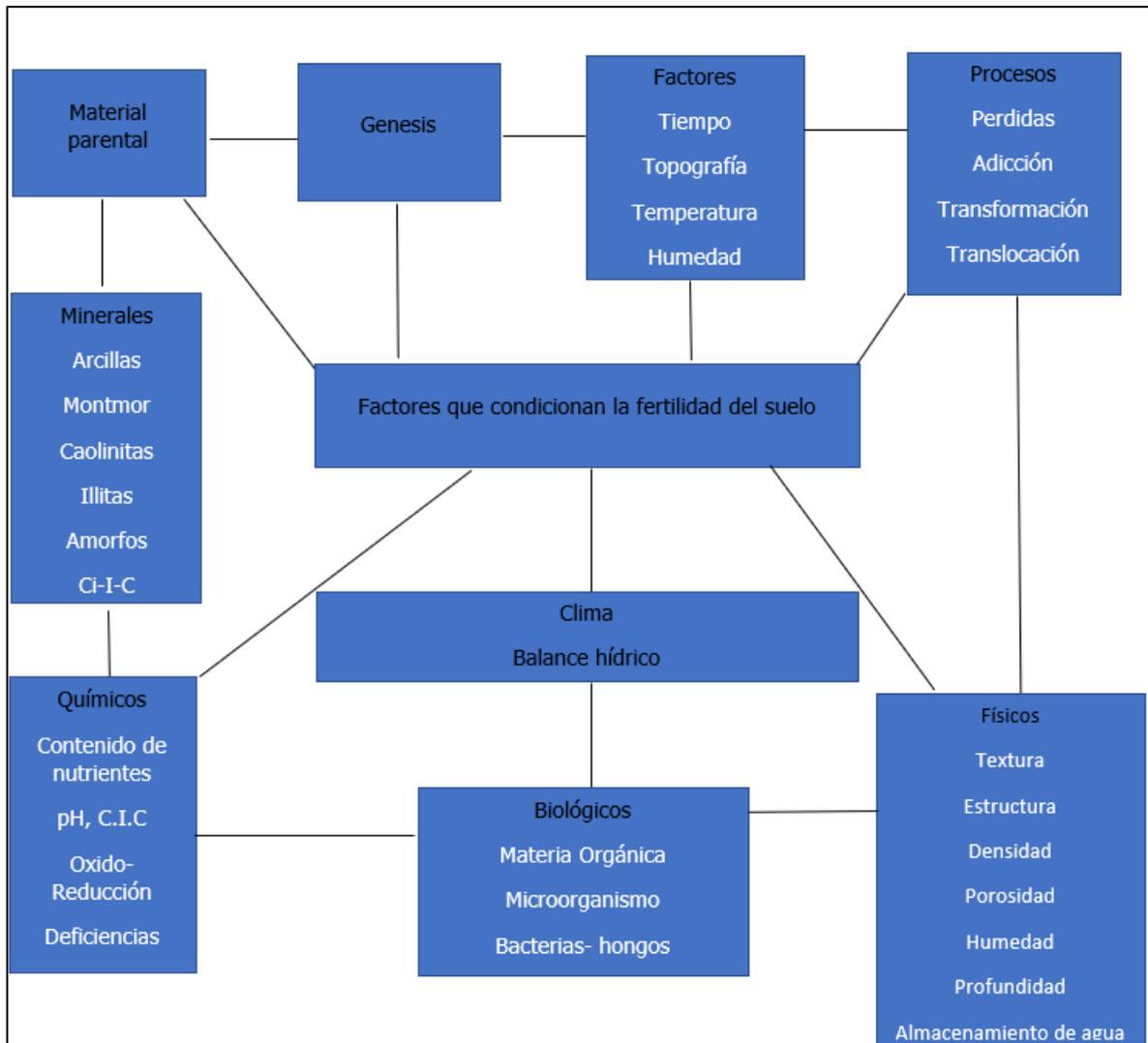


Figura 2. Factores que condicionan la fertilidad del suelo. Fuente: Pisco 2017.

El cacao (*Theobroma*) se cultiva bajo un sistema agroforestal conformado, principalmente, por plátano, frutales y maderables, los cuales al mismo tiempo generan sombra al cacao, además le permiten al productor tener otras alternativas de ingreso adicionales. Este tipo de sistema se caracterizan por conservar el suelo y el ambiente, por ser grandes proveedores de biomasa y de los beneficios que producen en la parte ambiental (Martínez *et al.* 2005 citado por Ruales *et al.* 2011). Las plantas de cacao absorben del suelo, cierta cantidad de elementos nutritivos en porciones específicas y es de gran importancia que estas porciones se mantengan estables para facilitar su absorción. Además, tanto los macroelementos, elementos secundarios y microelementos son necesario para el metabolismo y crecimiento de las plantas (INIAP 2009c citado por Plúa 2014).

El proceso de extracción de nutrientes durante una cosecha de cacao seco es de 1000 kg ha⁻¹ por año, es decir, corresponde aproximadamente a 44 kg de N (como nitrato), 10 kg de P

(P₂O₅) y 77 kg de K (como K₂O); en el caso de comenzar abrir las mazorcas del cacao dentro del campo y propagar las cáscara en el suelo durante la cosecha, se devuelve al suelo aproximadamente 2kg de N, 5kg de P y 24 kg de K, lo cual se debe tener en cuenta para el cálculo de las necesidades de fertilizantes (Enríquez 2003).

Según Enríquez (2003), del estimado de fertilizantes a aplicar de acuerdo con las condiciones del suelo (Cuadro 10), propone una recomendación resultante de una larga experiencia de aplicar, en la cual, dividiendo en tres o cuatro aplicaciones, el equivalente de un fertilizante o de abono orgánico proporciona aproximadamente 60 g de P₂O₅, 150 g de K₂O y 150 de S₀ por planta.

Cuadro 10. Estimado de fertilizantes para aplicación en el suelo, en kg/ha.

Elementos.	Interpretación del análisis		
	Alto	Medio	Bajo
P ₂ O ₅	20	40	60
K ₂ O	20	50	150
S (S ₀ ₄)	-	50	150
Ca	-	150	340
Mg	-	10	15

Fuente: Enríquez 1985.

Un estudio realizado en Colombia para saber los efectos de N, P, K en el cultivo de cacao, los tratamientos utilizados en el experimento fueron dosis anuales de las siguientes combinaciones: Testigo agricultor (200 g dolomita/planta + 2 kg/ planta de gallinaza); 50-90-50; 100-90-50; 50-90-100; 100-90-100; 150-90-100; 50-90-200; 100-90-200 y 150-90-200 de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente. Las unidades experimentales tuvieron una aplicación anual de 200 g/planta de dolomita. Las fuentes utilizadas en el estudio fueron urea, superfosfato triple y cloruro de potasio. Por otro lado, la dosis de aplicación se fraccionó en dos al inicio de los principales periodos de lluvioso (marzo y septiembre). A continuación, se presentan la respuesta del rendimiento de cacao a diferentes niveles de fertilización en Colombia (Cuadro 11).

Cuadro 11. Rendimiento de cacao a diferentes niveles de fertilización.

Tratamientos kg/ha			Rendimiento kg/ha
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
50	90	50	560
100	90	50	574
150	90	50	572
50	90	100	601
100	90	100	650
150	90	100	943
50	90	200	819
100	90	200	1049
150	90	200	1160
Testigo			562

Fuente: Uribe et al. 1998

Los resultados obtenidos en el experimento explican la necesidad de fertilizar plantaciones de cacao en pleno sol por su intensa actividad fotosintética que se refleja en altos rendimientos. Se alcanzó una alta respuesta a la fertilización con N y K y en el tratamiento que presentó el mejor resultado se aplicó al suelo 150-90-200 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O. Los datos demuestran que la aplicación adecuada de fertilizante del cacao en plena exposición puede ser rentable y que los rendimientos se sostienen a través del tiempo (Uribe *et al.* 1998).

3.6. Extracción de nutrientes de grano seco de clones de cacao con aplicación de N, P, K

La disminución de los rendimientos en la producción de cacao se relaciona con factores físicos y químicos del suelo, el manejo del cultivo y el material genético que se cultiva (Nacayama 2010). Por otro lado, (Lefebre *et al.* 2000), establecen que la extracción y distribución de nutrientes están relacionadas a la tasa de crecimiento y estos factores son de suma importancia sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo. La deficiencia de fertilización es uno de los factores limitantes para la producción de cacao. De acuerdo con (Uribe *et al.* 1998), en Trinidad, mostraron la importancia de la aplicación de N, P, K en cacao a plena exposición solar.

En una investigación realizada en Colombia por el Centro de Investigación de la Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao), se analizó la extracción de nutrientes en kilogramo/1000

kg de grano seco en cuatro clones de cacao (TSH-565, ICS-39, ICS-95 y CCN-51) con aplicación de N, P, K (Cuadro 14).

Cuadro 12.Extracción de nutrientes en kg/1000 kg de grano seco de clones de cacao con aplicación de N, P, K

Clon	N	P	K
CCN-51	21.88	4.72	11.11
ICS-95	23.57	6.00	15.95
TSH-565	20.60	5.01	10.76
ICS-39	23.10	4.95	13.58

Fuente: Puentes-Páramo et al. 2014

Los resultados que se obtuvieron en esta investigación es que para cada clon de cacao evaluados evidencia un límite en la capacidad de absorción de nutrientes de cada clon, también como un comportamiento diferencial en la distribución de nutrientes en la almendra (Puentes-Páramo *et al.* 2014).

3.7. El ciclo de la materia orgánica en SAF con cacao

Los sistemas agroforestales en asocio con cultivos perennes con especies (maderables, frutales y de servicio), generan un aumento de cantidad de biomasa, que los sistemas en monocultivo (Beer *et al.* 1990). Por otra parte, la cantidad de biomasa que es aportada por el dosel de sombra en SAF con cacao, se encuentra entre 7 a 10 ton ha⁻¹ en relación a un sistema monocultivo que es de 4 a 5 ton ha⁻¹ (Franco 1999), donde los suelos bajo monocultivo presentan baja fertilidad debido a la poca biomasa encontrada (Schroth *et al.* 2001). La cantidad de biomasa que se encuentran en el suelo en los SAF va a depender del tipo de especies que conforman el dosel de sombra, la edad de la plantación, las condiciones del lugar y el tipo de manejo. Por otro lado, se debe considerar las especies que produzcan alta cantidad de material orgánico o realizar las prácticas de manejo como son las podas las cuales contribuyen a mayor producción de biomasa.

La selección de las especies de sombra en los sistemas agroforestales de cacao va orientada a la búsqueda de beneficios socioeconómicos y de manejo, en el cual se pueden obtener productos rentables (madera, frutas, leña), baja competencia con el cultivo, de fácil manejo (Schroth y Sinclair 2003). Por otra parte, el aporte de la biomasa por parte del dosel de sombra y de la MO son los beneficios secundarios al momento de seleccionar los árboles de sombra, lo que se muestra la falta de conocimiento sobre el manejo de la biomasa dentro del sistema (González 2006).

Dentro de las medidas de manejo del componente arbóreo en SAF, además de aumentar la MO, se deben considerar el manejo de los factores que intervienen en el proceso de descomposición de la hojarasca con la finalidad de acelerar y optimizar el ciclaje de nutrientes

y contribuir a la sostenibilidad de la actividad de la fauna y microorganismo del suelo (Schroth *et al.* 2001), esto permitirá que los SAF se manejan de forma óptima y a la vez potencializar los procesos biológicos del suelo fomentando a la productividad de los sistemas (Kershner y Montagnini 1998 citado por Villegas 2008).

En Alto Beni, Departamento de La Paz, Bolivia, se investigó la selección de seis especies arbóreas considerando sus características fenológicas abundancia y frecuencia de asociación con el cultivo de cacao en la zona (González 2006). A continuación, en el siguiente (Cuadro 15), se presenta el contenido de N, P y compuestos de carbono presentes en las hojas de las especies en estudio en Alto Beni, Bolivia.

Cuadro 13. Contenido de N, P y compuestos de carbono presentes en las hojas de las especies en estudio en Alto Beni, Bolivia

Especie	N	P	Carbono total
Bactris gasipaes	2.6	0.2	45.6
Centrolobium ochroxylum	3.1	0.2	49.7
Erythrina poeppigiana	3.8	0.2	45.8
Inga edulis	2.8	0.2	49.9
Myroxylon balsamum	2.5	0.3	48
Swietenia macrophylla (SM)	1.7	0.1	48
Theobroma cacao	2.2	0.2	47.7

Fuente: Villegas 2008

En el estudio se demostró que la tasa descomposición del cacao es más alta donde se encuentra en mezcla con M ($k = 3.65$ año) y EP ($k = 3.22$ año) en la época lluviosa mientras que en la época seca es más rápida cuando esta combinada con EP ($k = 3.12$ año) y la más lenta cuando se encuentra en la mezcla con I. edulis ($k=1.57$ año) y con S. macrophylla ($k=1.78$ año). Al realizar el estudio de la mezcla de biomasa de diferente calidad sobre la de cacao, se establece

con mayor precisión el comportamiento del ciclaje de nutrientes en este tipo de sistema, lo cual se diferencia cuando se estudia las especies solas (Villegas 2008).

3.8. Balance de nutrientes en Agroecosistemas

El balance de nutriente es la diferencia entre la cantidad de nutrientes que entran y que salen de un agroecosistema o unidad productiva determinada (Pomares 2008). Esta definición permite estimar balances nutricionales de una parcela en una campaña agrícola a partir de los nutrientes que se extraen en el suelo en los productos cosechados (granos, forrajes, frutos, etc.) o más bien, en los productos animales, así como en los restos de residuos de cultivos.

El esquema del balance de nutrientes en la plantación se refiere a las entradas de éstos, ya sea de forma natural, es decir, precipitaciones en forma de lluvia, el agua de riego, o puede ser por restitución (restos de cosechas, abonos orgánicos, incorporación de biomasa), y las salidas por la exportación que provienen de las cosechas que se venden o se consumen en la propia plantación, también por las pérdidas originadas por lavado, escorrentía, etc. También existen otros procesos, que introducen nutrientes en la finca a través de deposiciones y sedimentaciones (Pomares 2008) (Figura 3).

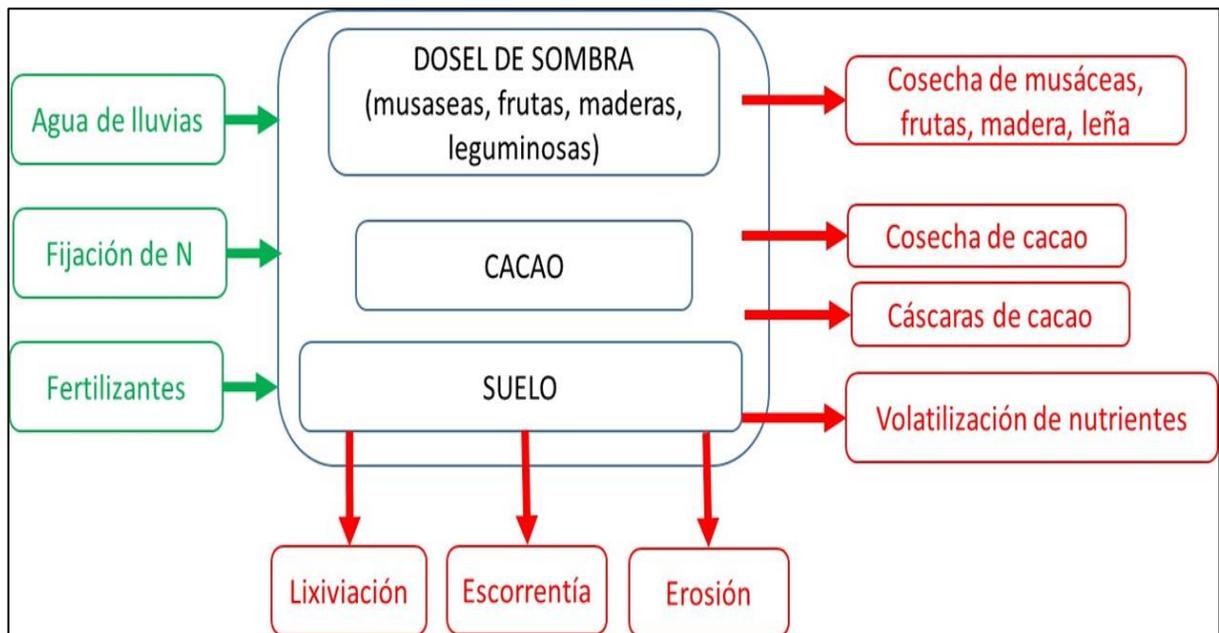


Figura 3. Modelo de entradas y salidas y balance de nutrientes en sistemas agroforestales con cacao. Fuente: Frederic Gay 2019.

4. METODOLOGÍA

4.1. Descripción del área de estudio

Esta investigación se llevó a cabo en las regiones Norcentral y Nordeste de República Dominicana, donde se abarcó los municipios Salcedo, San Francisco de Macorís y Castillo, perteneciente a las provincias Hermanas Mirabal y provincia Duarte. Estas zonas cubren un total de 46,264.44 ha, de las cuales son las principales zonas productora de cacao del país (Figura 4).

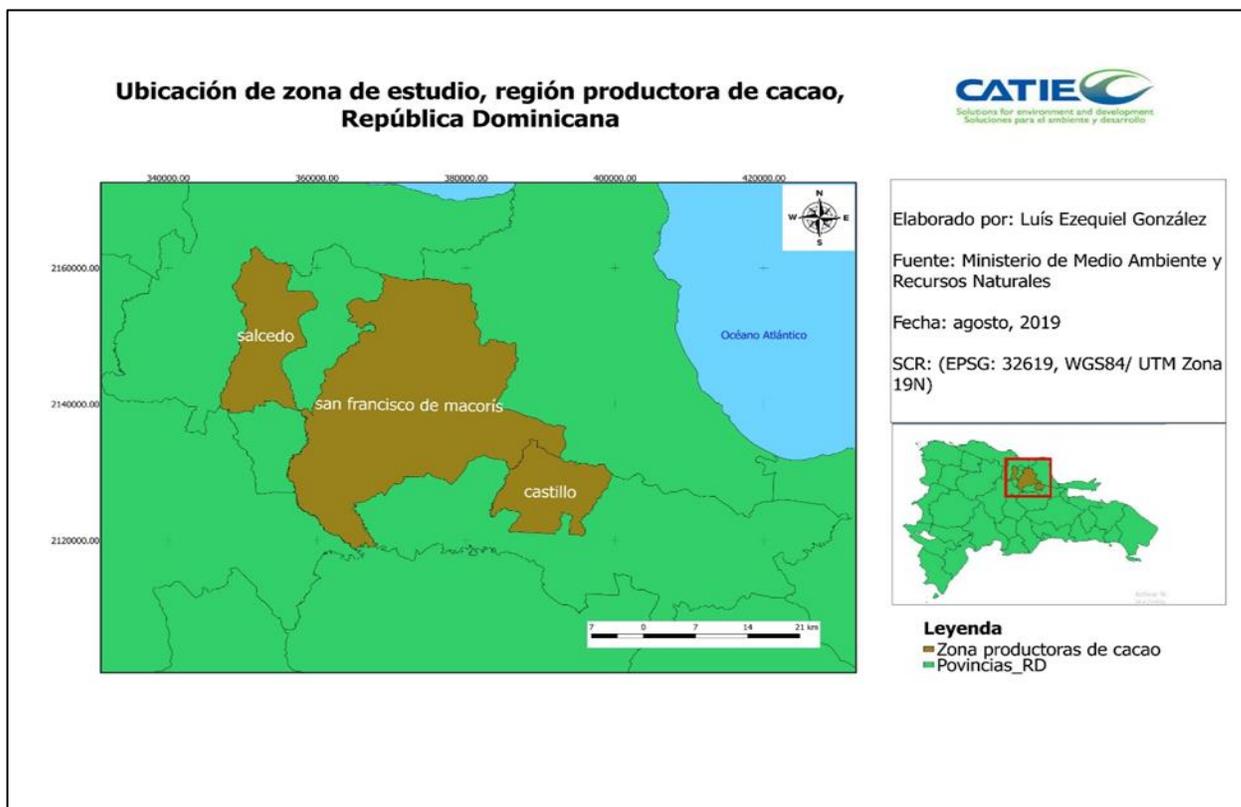


Figura 4. Mapa de las provincias Hermanas Mirabal y Duarte.

Las condiciones geoclimáticas de las provincias Hermanas Mirabal y Duarte, donde se realizó la investigación se presentan en el Cuadro 16.

Cuadro 14. Condiciones geoclimáticas del área de estudio

	Hermanas Mirabal	Duarte
Latitud	19°22'39.4" N	19°12'32.7" N
Longitud	70°25'3.4" O	70°1'37.2" O
Altitud	481 ms.n.m	17- 985 ms.n.m
Temperatura	25.81°C	25.6 °C
Precipitación	1345.4 mm	1682.76 mm
Superficie	427.4 km ²	1.649,5 km ²

Fuente: MIMARENA 2012

4.2. Selección de sistemas (tratamientos) y parcelas de estudio (repeticiones)

En la investigación, se han seleccionado cuatro SAFs cacao, aplicando dos criterios: 1- representativo (son los cacaotales de semillas que representan la cacaocultura dominica) y 2- que tienen potencial moderno (plantaciones clonales con buen material genético y producción de otros productos agroforestales). Se escogieron plantaciones de diferentes edades, dentro de estos sistemas se puede encontrar:

Plantación de cacao tradicional con edad de 20 años, protegido con sombras de árboles de amapolas y piñón (*Erythrina spp* y *Gliricidia sepium*), este cacaotal es representativo del cacaocultor dominicano. Mientras que, en el cacaotal tradicional de 10 años, cuya variedad de sombra es igual al anterior, es importante determinar cómo influyen este tipo de sombras, en lo referente a los nutrientes aportados por la mismas en este cultivo de menor edad.

Para SAFs cacao clonal con edad de 10 años, se utilizan la combinación de sombra de amapolas y zapotes. Mientras que la elección del cacao clonal con edad de 20 años está más orientado a la producción de cacao y madera.

Para la selección de los principales SAFs cacao (híbridos tradicionales y clonales), ubicados en la provincia Hermanas Mirabal y provincia Duarte, se realizó un análisis de suelo con la finalidad de comparar la fertilidad en 4 sistemas (tratamientos) con 10 repeticiones (parcelas) (Cuadro 17).

Cuadro 15. Sistemas seleccionados para analizar el balance de nutrientes en la provincia Hermanas Mirabal y provincia Duarte, República Dominicana

Tipos de sistema	Edades	Tipos de especies	Topografía	Repeticiones (Parcelas)
Tradicional	10 años	Piñón (<i>Gliricidia sepium</i>) y amapola (<i>Erythrina spp.</i>)	Llano	10
Tradicional	20 años	Piñón (<i>Gliricidia sepium</i>) y amapola (<i>Erythrina spp.</i>)	Llano	10
Clonal	10 años	Piñón (<i>Gliricidia sepium</i>) y zapote (<i>Pouteria sapota</i>)	Llano	10
Clonal	20 años	Melina (<i>Gmelina arborea</i>), piñón (<i>Gliricidia sepium</i>) y amapola (<i>Erythrina spp.</i>)	Llano	10
Total, de parcelas de estudio =				40

En cada sistema seleccionado, se establecieron 10 parcelas de estudio de 50 × 20 m (1000 m²), en la que se hizo muestreo de suelos y otras evaluaciones como son: la medición de diámetro a la altura de pecho (DAP), la altura total y comercial de los árboles. En cada parcela de estudio se colocaron estacas con cintas rojas en las esquinas con la finalidad de identificar el área (Cerdeña 2008).

4.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS SAFs CACAO

4.3.1. Caracterización de la fertilidad

En cada parcela de estudio se recolectaron 12 submuestras de suelo (Figura 5) para obtener una muestra compuesta de 500 g. La profundidad de muestreo fue de 30 cm. En los SAFs cacao se tomaron cuatro submuestras cerca de las plantas de cacao, otras cuatro muestras se tomaron entre las calles de cacao y otras cuatro cerca de los árboles de sombra. La muestra de suelos se colocó en bolsa plástica con su identificación; se implementó a no cerrar la bolsa hasta que el suelo sea secado al aire con el fin de evitar cambios bioquímicos que alteran las características de la muestra (Bertsch 1995). Todas las muestras se llevaron al laboratorio para realizar un análisis físico y químico completo (contenido de materia orgánica, carbono, macronutrientes N, P, K y conocer la textura del suelo) (Garro 2010).

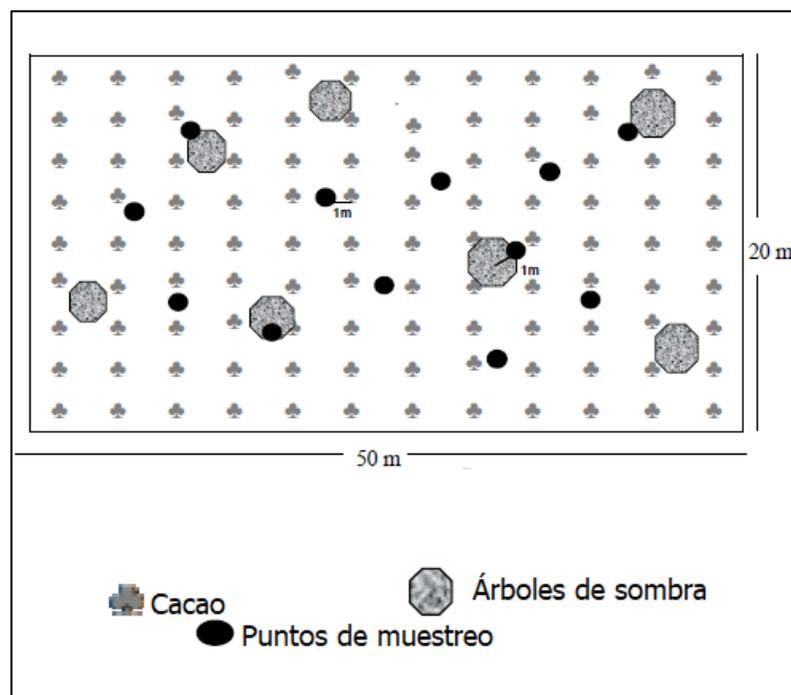


Figura 5. Modelo de recolección de las 12 submuestras de suelo. Fuente: Cerda Bustillos 2008.

4.3.1.2. Densidad aparente del suelo

En las parcelas de 50×20 m (1000 m^2), se procedió a recolectar 6 submuestras de suelo para obtener una muestra compuesta. En los SAFs cacao se tomaron dos submuestras cerca de las plantas de cacao, otras dos entre las calles de cacao y otras dos cerca de los árboles de sombra (Gay 2019) Para esta variable se utilizó el método horizontal que consiste en hacer una excavación en el suelo con una profundidad de 30 cm y luego, se procedió la extracción del suelo con cilindros de 5 cm de altura y 5 cm de diámetro. La muestra de suelos de cada parcela se colocó en bolsa plástica con su identificación donde se llevó al laboratorio para realizar un análisis.

Para medir la densidad aparente del suelo (D_a), se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$D_a = M_s / V$$

M_s = Masa seca de la muestra del suelo (g o kg o t)

V = Volumen de la muestra del suelo (en cm^3 o litros o m^3)

→ D_a en g/cm^3 , kg/L o t/m^3

4.3.2. Caracterización de la estructura agroforestal

Se identificaron los árboles y plantas a nivel de especies que se encuentren ubicados en las parcelas de 1000 m² con el fin de elaborar un inventario para obtener información de las especies. Por otra parte, se realizó la medición de siguientes variables dasométricas (Salgado 2012).

Diámetro a la altura del pecho (DAP), donde se midió el diámetro de los árboles en pie con una cinta diamétrica, la altura de medición del diámetro es 1,3 m. La altura total (AT) y altura comercial (AC), se utilizó un clinómetro y el área basal de los árboles se calculó utilizando la ecuación $AB = 0.7854 \times DAP^2$. Para el cálculo del volumen total (VT m³), se aplicó la fórmula: $(VT = AB \times AT \times FF)$, donde Vt = volumen total, AT= altura total y FF= factor de forma (0.45). Por otra parte, para el volumen comercial (VC m³) se empleó el procedimiento $(VC = AB \times AC \times FF)$ donde el factor de forma (0.70). Para el cálculo de la biomasa se realizó mediante la ecuación $(B = VC \times DM \times FEB)$, B= biomasa, VC= volumen comercial, DM= densidad de la madera (0.45) y FEB= factor de expansión de la biomasa (1.5) y finalmente, para la estimación del carbono se usó la ecuación $(C = B \times FC)$, C= carbono, B= biomasa y FC= fracción de carbono (0.5).

4.3.3. Caracterización del manejo

Se realizaron entrevistas (ver anexo 1), a los productores para la obtención de información general sobre el historial de la finca, así como conocer qué tipos de prácticas se realizan en los cacaotales (podas, fertilización, control de malezas, control fitosanitario, rendimientos, producción, especies de sombra, las variedades de cacao). Se puso mayor énfasis en todo lo que puede significar entradas y salidas para el sistema (Garro 2010).

4.3.4. Cálculos de existencias de nutrientes

Para el cálculo de existencias de nutrientes, se debe tener en cuenta el volumen del suelo, la densidad aparente y el peso del suelo. Por otra parte, es importante calcular el peso del suelo en tonelada, donde empleó la fórmula siguiente 10000 m^2 por la profundidad del suelo ($10000 \text{ m}^2 \times 0.3 = 3000 \text{ m}^3$), por el valor de la densidad aparente.

4.3.4.1. Procedimiento para el cálculo de existencia de nutrientes de N, P, K

De acuerdo con Cerda *et al.* 2019 para el cálculo de N en kg/ ha, se utilizó la ecuación (Peso total de suelo/tonelada \times el valor de N \times 10 factor de conversión). Para obtener la existencia de N se usó la siguiente fórmula (el valor de N (%) \times el peso del suelo \times 4% mineralización). Para el cálculo del P el valor en mg/kg \times por el peso del suelo y el cálculo de K esta ecuación

consiste en valor reportado por el laboratorio \times por una constante para llegar a $\text{mg/kg} \times$ por el peso del suelo.

4.3.5. ESTIMACIÓN DE ENTRADAS

4.3.5.1. Entrada de nutrientes que aportan los abonos orgánicos

En esta variable, se procedió a multiplicar el contenido de nutrientes (N, P, K) que aporta los abonos orgánicos por la cantidad de kilogramos por hectárea (kg/ha) utilizado en las fincas. Cabe destacar que los valores de nutrientes que presentan los abonos orgánicos fueron obtenidos mediante la revisión de la literatura como se puede observar en el siguiente (cuadro 18).

Cuadro 16. Cantidad de nutrientes de abonos orgánicos (en porcentaje %)

Tipo de abono	N	P	K
Gallinaza	2.0	2.5	1.8
Lombricompost	2.0	1.0	1.0

Fuente: Falguni 2019

4.3.5.2. Estimación por entrada de lluvia

Se buscó información en las estaciones meteorológicas con el objetivo de obtener datos de la cantidad de lluvia en milímetros que cae en las zonas de estudio. De acuerdo con la revisión de literatura zonas que presentan precipitaciones de 1500 mm, aportan 5 kg de N/ha. Cabe destacar que las áreas de la investigación se encuentran dentro de ese rango (Gay 2020).

4.3.5.3. Estimación por entrada de árboles leguminosos

Se identificaron y se contabilizaron los árboles leguminosos que están presentes en cada uno de los SAFs clonales y tradicionales, con el objetivo de determinar la densidad de especies por hectárea. Luego se realizó la búsqueda de literatura, con la finalidad de obtener datos de cuantos aportan de fijación de N por árbol. Según Garro (2010), expresa que 28 árboles leguminosos aportan 8.5 kg de N/ha.

4.3.6. ESTIMACIÓN DE LAS SALIDAS

4.3.6.1. Salidas de nutrientes en cacao en grano vendido

Se calculó la cantidad de nutrientes por la producción de cacao kilogramo por hectárea, donde se extraen las siguientes cantidades de nutrientes por kilogramo (Garro 2010) (cuadro 19).

Cuadro 17. Extracción de nutrientes por un kilogramo de cacao seco

N	P	K
0.038	0.005	0.051

Fuente: Garro 2010

4.3.6.2. Salidas de nutrientes por la cáscara de cacao

Para obtener el cálculo de nutrientes que son extraídos por la cáscara de los frutos que produce un kilogramo de cacao seco, se debe considerar los siguientes datos (Garro 2010) (Cuadro 20).

Cuadro 18. Contenido de nutrientes (kg) en las cáscaras de cacao.

N	P	K
0.015	0.002	0.06

Fuente: Garro 2010

4.3.6.3. Salidas de nutrientes por bananos

Para realizar los cálculos de esta variable se multiplicó la cantidad de racimos vendidos por los diferentes contenidos de nutrientes, donde es necesario utilizar los siguientes datos (Garro 2010) (Cuadro 21)

Cuadro 19. Contenido de nutrientes por racimo kg

	N	P	K
Total	0.031	0.004	0.106

Fuente: Garro 2010

4.3.6.4. Salidas de nutrientes por frutales

Se realizó la búsqueda de revisión de literatura, para saber la extracción de nutrientes que extraen, las diferentes frutas que están presentes de los SAF clonales y tradicionales. Luego para realizar el cálculo se multiplicó la cantidad de frutas vendidas en kg por los diferentes contenidos de nutrientes (cuadro 22).

Cuadro 20. Contenido de nutrientes en kg por cada kg de fruta

Frutas	N	P	K	Autores
Zapote	0.0065	0.00065	0.0096	Fernández 2007
Limonos	0.0011	0.002	0.0016	Vázquez 2017
Naranjas	0.00118	0.00025	0.002	García 2011

4.3.7. CÁLCULO DE BALANCE DE NUTRIENTES

Para el cálculo del balance de nutrientes de cada SAF, se desarrolló la tabulación de la información haciendo uso del programa Excel, en dicha base de datos se incluyó toda aquella información necesaria para la elaboración de un modelo que permitiera realizar el balance de nutrientes, información como tipo, cantidad y frecuencia de aplicación de nutrientes del fertilizantes, de igual forma, se elaboró una base de datos donde se incluyeron las entradas y salidas de nutrientes a cada uno de los sistemas analizados.

Una vez estimadas las entradas y salidas se procedieron a realizar el balance de nutrientes en cada sistema para determinar si el balance es positivo o negativo. Es importante mencionar que no se evaluaron los datos de volatilización de nutrientes, escorrentía y erosión dado que está fuera del alcance de esta tesis. Una vez determinado si el balance es positivo o negativo se realizó la comparación para cada uno de los sistemas.

Por otra parte, se realizó un ejercicio de balance de nutrientes en los SAFs clonales y tradicionales, con una producción de 1016 kg/ha de cacao, con el objetivo de saber cuánto más negativo se comporta el balance en los cacaotales. Esto permitió realizar interpretaciones y sugerencias de los datos obtenidos.

5. ANÁLISIS DE DATOS

Para la caracterización de la fertilidad, estructura y manejo de los SAFs clonales y tradicionales, se utilizó estadística descriptiva describiendo media, E.E, mediana y rangos. Para comparar todas las variables de los sistemas, se utilizó el modelo con estructura factorial (2 edades por 2 tipos de cacao: 4 tratamientos) con 10 repeticiones completamente al azar:

- Se usaron modelos lineales generales y mixtos para el análisis de variables de estructura agroforestal, manejo, fertilidad y balance de nutrientes.
- Se realizó prueba de comparación de medias LSD Fisher.

6. RESULTADOS

6.1. Caracterización de la fertilidad de los sistemas agroforestales

La fertilidad de los suelos de los SAFs clonales y tradicionales evaluados presentaron buen contenido de materia orgánica, un apropiado pH y buena estructura física. En el cuadro 23 se observan diferencias significativas ($P=0.0016$) para la materia orgánica, los cacaotales clonales muestran promedios de 11.29% a 12.29%, mientras los tradicionales presentan valores entre 7.72% a 7.49%. En el caso del pH presenta diferencias significativas ($P=0.0001$), los SAFs tradicionales 7.18 a 7.30 y los clonales 5.33 a 5.63, cabe destacar que ambos cacaotales se encuentran dentro de los valores óptimos de materia orgánica y pH. De acuerdo con las propiedades físicas de los suelos ambos SAFs clonales y tradicionales mostraron textura de franco a franco arcilloso y una densidad aparente de 0.87 a 0.97 (g/cm³) /ha.

En cuanto a los elementos más importantes N, P, K presentan diferencias entre los sistemas. Los SAFs clonales presentaron promedios de N entre 0.37 a 0.27 % de N/ha, mientras que los SAFs tradicionales de 0.22 a 0.21 % de N/ha. Para el P, los SAFs clonales tienen valores de 10.37 a 14.60 mg/kg/ha y los SAFs tradicionales de 22.70 a 43.60 mg/kg/ha. En relación con el K, los SAFs clonales mostraron 0.19 a 0.16 meq/100g y los SAFs tradicionales con un rango de 0.25 a 0.10 meq/100g, esto nos indica que están dentro los valores requeridos para el cultivo (N, P, K).

En cuanto al contenido de hierro todos los SAFs mostraron valores elevados entre 92.85 y 452.21(mg/kg) /ha. Con respecto a la capacidad intercambio catiónico los SAFs tradicionales presentaron valores entre 16.94 y 22.65, en comparación de los SAFs clonales que mostraron rangos entre 38.74-53.63 ubicándose por encima del parámetro requerido. Cabe destacar que la conductividad eléctrica de los cacaotales clonales y tradicionales se encuentran dentro del rango <700, con promedio de 268.12 a 380.10 (µmhos/cm) /ha.

Cuadro 21. Fertilidad de suelo de los sistemas agroforestales de cacao clonal y tradicional

Variables	Clonal 10 años	Clonal 20 años	Tradicional 10 años	Tradicional 20 años	p-valor	Rango óptimo (Enríquez 1985)	Rango óptimo (Snoeck <i>et al.</i> 2016.)
	Media ± E. E	Media ± E. E	Media ± E. E	Media ± E. E			
Ph en agua (1:2)	5.63±0.11b	5.33±0.11b	7.18±0.11a	7.30±0.11a	0.0001	5.0-7.6	5.1-7.0
Materia Organica (%)	12.29±0.99a	11.29±0.99a	7.49±0.99b	7.70±0.99b	0.0016	3-6.1	3-7
Nitrógeno (%)	0.27±0.04a	0.37±0.04a	0.21±0.04b	0.22±0.04b	0.0284	0.2-0.4	0.2-0.4
Fósforo (P) (mg/kg)	14.60±3.70bc	10.37±3.70c	43.60±3.70a	22.70±3.70b	0.0001	12-21	12-25
Potasio (K) (meq/100g)	0.16±0.03bc	0.19±0.03ab	0.10±0.03c	0.25±0.03a	0.0050	0.15-0.4	0.15-0.4
Calcio (Ca) (meq/100g)	15.74±2.32b	28.43±2.32a	0.43±2.32c	2.40±2.32c	0.0001	4.0-18.0	4.0-18.0
Cobre (Cu) (mg/kg)	43.65±109.10b	43.39±109.10b	350.25±109.10ab	480.28±109.10a	0.0132	0.4-1.8	0.4-1.8
Densidad aparente (g/cm ³)	0.89±0.03ab	0.94±0.03ab	0.97±0.03a	0.87±0.03b	0.1179		
Arcilla (A) %	9.10±0.68a	9.20±0.68a	5.30±0.68b	5.60±0.68b	0.0001		
Conductividad Electrica (µmhos/cm)	268.12	295.65	337.10	380.10	N/S	<700	<700
Acidez extraible (Al+H) (meq/100g)	0.30	0.30	0.20	0.40	N/S	0.5-1.5	0.5-1.5
Magnesio (Mg) (meq/100g)	22.84	24.35	16.42	20.01	N/S	0.8-20	0.9-4.0
Sodio (Na) (meq/100g)	0.00	0.66	0.00	0.00	N/S	<2	<2
Capacidad de intercambio Catiónico (meq/100g)	38.74	53.63	16.94	22.65	N/S	12-30	12-30
Manganeso (Mn) (mg/kg)	1.00	1.00	1.00	1.00	N/S	3-12	3-12
Hierro (Fe) (mg/kg)	92.85	166.23	367.20	452.21	N/S	19-45	19-45
Zinc (Zn) (mg/kg)	0.50	0.50	0.50	0.50	N/S	0.5-2.2	0.5-2.2
Limo (L) %	38.30	36.80	41.30	36.20	N/S		
Arena (a) %	52.60	54.00	53.40	58.20	N/S		
Textura (%)	Franco	Franco	Franco arcilloso	Franco arcilloso			

6.2. Caracterización de la estructura agroforestal de los cacaotales

Los SAFs clonales y tradicionales presentaron diferencias en su estructura agroforestal. Las densidades de cacao en los cacaotales clonales se encuentran entre 816 a 1,111 plantas/ha, mientras que los tradicionales de 625 a 769 plantas/ha. En cuanto a la densidad del dosel de sombra, los SAFs clonales tienen promedio de 68-85 árboles/ha y los SAFs tradicionales entre 65-80 árboles/ha.

En la densidad de árboles frutales, los cacaotales clonales presentan diferencias significativas ($P=0.0001$) de 13 a 33 árboles/ha, mientras los tradicionales de 1 a 15 árboles/ha. El cacao clonal de 20 años predomina en relación con los demás SAF con respecto a la densidad de árboles maderables por ha con una media de 54.00 (cuadro 24). Se observa que los árboles de servicios en los SAFs tradicionales presentan diferencias significativas ($P=0.0001$), de 64.00 a 65.00.

El área basal de los árboles frutales muestra diferencias significativas ($P=0.0002$) en el SAFS clonal de 10 años con una media de 0.61 (cuadro 24). Así mismo, el SAF tradicional de 20 años presentan diferencias significativas ($P=0.0001$) en el área basal de los árboles de servicios con un promedio de 26.58.

En cuanto a la biomasa total de todos los SAFs presentaron diferencias significativas ($P=0.0075$), el SAF tradicional de 20 años con un promedio de 84.19 t/ha (cuadro 24). Por otra parte, la biomasa de los árboles frutales, el SAF clonal de 10 años presentó una media de 24.83 t/ha, colocándose por encima en relación con los otros sistemas. En la captura del carbono de los SAFs, hubo diferencias significativas ($P=0.0075$) en donde el SAFs tradicional de 20 años presentó un promedio de 42.11 C t/ha, mientras que los demás sistemas presentaron valores mínimos 2.06 a 14.59 C t/ha.

Cuadro 22. Estructura de los sistemas agroforestales cacao clonal y tradicional

Variables	Clonal 10 años	Clonal 20 años	Tradicional 10 años	Tradicional 20 años	p-valor
	Media± E. E	Media± E. E	Media± E. E	Media± E. E	
Densidad F (árboles/ha)	33.00±3.93a	13.00±3.93b	1.00±3.93c	15.00±3.93b	0.0001
Densidad M (árboles/ha)	0.00±2.91b	54.00±2.91a	0.00±2.91b	0.00±2.91b	0.0001
Densidad S (árboles/ha)	35.00±4.18b	18.00±4.18c	64.00±4.18 ^a	65.00±4.18a	0.0001
Área basal F/ha	0.61±0.08a	0.21±0.08b	0.02±0.08b	0.21±0.08b	0.0002
Área basal M/ha	0.00±0.04b	0.78±0.04a	0.00±0.04b	0.00±0.04b	0.0001
Área basal S/ha	0.88±3.35b	1.57±3.35b	1.44±3.35b	26.58±3.35a	0.0001
Área basal cacao/ha	0.12±10.33a	0.32±10.33b	0.12±10.33 ^a	0.33±10.33b	0.0024
Biomasa total (t)/ha	29.18±16.42b	15.78±16.42b	4.12±16.42b	84.19±16.42a	0.0075
Carbono total (t)/ha	14.59±8.20b	8.00±8.20b	2.06±8.20b	42.11±8.20a	0.0075
Densidad cacao (unidad/ha)	1111	816	769	625	N/S
Densidad total/ha	11178	8245	7755	6330	N/S
Densidad del dosel de sombra/ha	68.00	85.00	65.00	80.00	N/S
Biomasa (t) F/ha	24.83	6.79	0.07	0.77	N/S
Biomasa (t) M/ha	0.00	3.06	0.00	0.00	N/S
Biomasa (t) S/ha	4.35	5.93	4.05	83.42	N/S
Carbono (t) F/ha	12.41	3.40	0.03	0.40	N/S
Carbono (t) M/ha	0.00	1.33	0.00	0.00	N/S
Carbono (t) S/ha	2.18	3.27	2.03	41.71	N/S

N/S no hay diferencias significativas

6.3. Caracterización del manejo agroforestal de los cacaotales

Los cacaotales clonales y tradicionales, son fertilizados con dos aplicaciones por año con abonos orgánicos, pero difieren en el tipo de abono y las cantidades. Los SAFs clonales son los que presentan menores cantidades de aplicaciones de lombricompost, los cuales muestran de 206 a 237 kg/ha, mientras que los SAFs tradicionales presentaron mayores cantidades 1541 a 2060 kg/ha, cabe destacar que los tradicionales utilizan lombricompost y gallinaza. Por otra parte, el costo total de abonos, los clonales presentan un promedio de 26.88 a 30.96 USD/ha/año, y los tradicionales muestran de 201 a 149 USD/ha/año (cuadro 25).

Cuadro 23. Insumo de aplicación de abonos orgánicos de los sistemas agroforestales de cacao clonal y tradicional

Práctica	Variable	Clonal 10 años	Clonal 20 años	Tradicional 10 años	Tradicional 20 años
Aplicación de abonos	No. de aplicaciones por año	2	2	2	2
	Cant, total de abono orgánico (kg/ha/año)	237	206	2060	1541
	Costo total mano obra (USD/ha/año)	19.32	10.66	70	120
	Costo total abono orgánico (USD/ha/año)	30.96	26.88	149	201

*Sistema agroforestal clonal 20, clonal 10 y tradicional 20 usan lombricompost; tradicional 10 usa gallinaza

Los SAFs clonales y tradicionales evaluados, en general, presentaron manejos similares, pero en relación con las frecuencias en que se realizan las prácticas algunas difieren. Como se observa en el cuadro 26, el SAF clonal de 20 años realiza el control de malezas cada 4 veces al año, mientras que los demás entre 1-2 anualmente. Para la recolección de frutales, los SAFs clonales presentan mayor número de frecuencia al año con promedio de 4 veces en relación con los SAFs tradicionales. Para la práctica de podas todos realizan una sola vez anualmente y para la recolección de mazorcas todos los SAFs se hace cada 15 días.

Cuadro 24. Prácticas realizadas en los sistemas agroforestales de cacao clonal y tradicional

Práctica	Variable	Clonal 10 años	Clonal 20 años	Tradicional 10 años	Tradicional 20 años
Control de enfermedades	No. De frecuencia control de enfermedades	1	1	1	2
Control de malezas	No. De frecuencia por año	2	4	2	1
Corte de chupones	No. De frecuencia por año	2	2	2	1
Deshoje/corte de racimos	No. De frecuencia por año	1	2	1	1
Drenaje	No. De frecuencia por año	1	1	1	1
Poda	No. De frecuencia por año	1	1	1	1
Recolección de frutales	No. De frecuencia por año	4	4	2	1
Recolección de mazorcas	No. De frecuencia por año	15	15	15	15
Reparación de empalizada	No. De frecuencia por año	1	1	1	1

6.4. Rendimiento de los cacaotales clonales y tradicionales

Los rendimientos de los cacaotales clonales y tradicionales presentaron diferencias en fincas. Se observa, en el cuadro 27, el SAF tradicional de 10 años presenta un rendimiento mayor de 1016 kg/ha, mientras ambos SAFs clonales producen entre 674 y 754 kg/ha. Estos rendimientos no solamente se deben a la aplicación de abonos orgánicos, hay otros factores que están influyendo como la edad, manejo, variedades de cacao. Cabe destacar que el tradicional de 20 años fue el que presentó menor valor siendo éste de 483 kg/ha.

En cuanto a la producción de los frutales, se observa en el cuadro 27, que los cacaotales clonales presentaron mayores rendimientos en bananos de 150 a 248 racimos/año, mientras los tradicionales presentan un rendimiento de 15 a 20 racimos/año. En cuanto la producción de zapote los SAFs clonales se mostraron promedios de 33.6 a 362.32 kg/ha. Los SAFs tradicionales son los únicos que producen cítricos con valores de 250 kg de limones/ha y 106.67 kg de naranjas/ha.

Cuadro 25. Rendimientos de los SAF clonales y tradicionales

Variable	Clonal 10 años	Clonal 20 años	Tradicional 10 años	Tradicional 20 años
Rend. de cacao (kg/ha/año)	754	674	1016	483
Rend. de zapote (unidad/año)	18000	3000	0.00	0.00
Rend. de zapote (kg/ha)	362.32	33.6	0.00	0.00
Rend. de bananos (racimos/año)	150	248	20	15
Rend. de limones (unidad/año)	0.00	0.00	0.00	5000
Rend. de limones (kg/ha)	0.00	0.00	0.00	250
Rend. de naranjas (unidad/año)	0.00	0.00	2000	0.00
Rend. de naranjas (kg/ha)	0.00	0.00	106.67	0.00

Los valores de 0.00 corresponde a los diferentes frutales que no hay presencia de rendimiento en cada uno de los SAFs.

6.5. Existencias de nutrientes N, P, K en los sistemas agroforestales

En los SAFs clonales y tradicionales evaluados en la investigación, existen diferencias en el balance de nutrientes calculado. En general, las existencias de N, P, K no alcanzan los niveles óptimos. En el caso del P ninguno de los sistemas llega a los niveles requeridos, y la situación más crítica se presenta en el caso del K porque todos los SAFs clonales y tradicionales están de 3 a 6 veces por debajo del óptimo. Se puede observar en el cuadro 28 que existen diferencias significativas ($P= 0.0136$) en la existencia de N disponible en el suelo, el cacaotal clonal de 20 años fue el que presentó el mayor valor de 414.26 kg de N/ha, mientras que el clonal de 10 años y ambos tradicionales presentan 225 a 282 kg de N/ha. Para la existencia del P se muestra diferencias significativas ($P= 0.0001$) en los SAFs tradicionales se puede apreciar valores entre 59.44 y 125.10 kg de P/ha, los cuales se encuentra por encima del nivel requerido por el cacao, el cual es de 48 kg de P/ha. Por otra parte, los cacaotales tradicionales presentan una media de 29 a 38 kg de P/ha. En el caso del K todos los sistemas muestran promedios de 118.20 a 257.15 kg de K/ha, lo cual muestra que están por debajo de las necesidades nutricionales 633 kg de K/ha de acuerdo con la literatura.

Cuadro 26. Existencias de nutrientes N, P, K disponible en el suelo (kg/ha)

Nutriente	Clonal 10 años		Clonal 20 años		Tradicional 10 años		Tradicional 20 años		p-value	Valor optimo
	Media± E. E	Mediana	Media± E. E	Mediana	Media± E. E	Mediana	Media± E. E	Mediana		
N	282±42.00b	277	414±42.00a	325	241±42.00b	225	229±42.00b	234	0.0136	400
P	38±9.66bc	23	29±9.66c	22	125±9.66a	127	59±9.66b	55	0.0001	48
K	170±30.31ab	181	207±30.31a	225	118±30.31b	136	257±30.31a	301	0.0192	600

6.6. Entradas de nutrientes de los sistemas agroforestales

Las principales entradas de los SAFs clonales y tradicionales fueron de abonos orgánicos y el aporte de las leguminosas de sombra, las entradas de nutrientes fueron diferentes entre los cacaotales, también las entradas consideradas por lluvias, como en el caso del N. Por otra parte, el P y K provienen de los abonos. Es importante mencionar que los abonos utilizados en las fincas incorporan al suelo nutrientes que van entre los valores de 4.12 a 41.2 kg de N/ha, 2.06 a 51.5 kg de P/ha y 2.06 a 37.08 kg de K/ha (cuadro 29). Existen diferencias significativas ($P=0.0001$) en los cacaotales tradicionales, los que presentaron promedio de entradas 55.55 a 65.33 kg de N/ha, 15.41 a 51.5 kg de P/ha y 15.41 a 37.08 kg de K/ha. Se puede observar que los cacaotales clonales muestran promedios similares 16.10 a 20.67 kg de N/ha, 2.06 a 2.37 kg de P/ha y 2.06 a 2.37 kg de K/ha. En cuanto a las leguminosas, los SAFs clonales mostraron promedio de 6.98 a 10.93 kg de N/ha y los SAFs tradicionales presentan valores similares de 19.73 a 19.13 kg de N/ha.

Cuadro 27. Entradas de nutrientes N, P, K (kg/ha) en los sistemas agroforestales

Nutriente	Fuente	Clonal 10 años (kg/ha)	Clonal 20 años (kg/ha)	Tradicional 10 años (kg/ha)	Tradicional 20 años (kg/ha)	p-valor
		Media± E. E	Media± E. E	Media± E. E	Media± E. E	
N	lombricompost	4.74	4.12	0	30.82	
	gallinaza	-	-	41.2	-	
	Árb. leguminoso	10.93	6.98	19.13	19.73	
	Lluvia	5	5	5	5	
	Total	20.67±1.29c	16.10±1.29d	65.33±1.29a	55.55±1.29b	0.0001
P	lombricompost	2.37	2.06	-	15.41	
	gallinaza	-	-	51.5	-	
	Total	2.37	2.06	51.5	15.41	N/S
K	lombricompost	2.37	2.06	-	15.42	
	gallinaza	-	-	37.08	-	
	Total	2.37	2.06	37.08	15.41	N/S

N/S no hay diferencias significativas

6.7. Salidas de nutrientes N, P, K en los sistemas agroforestales

En todos los sistemas, las principales salidas fueron los granos y cáscara de cacao, luego por musáceas. Por otra parte, las salidas de N, P, K por frutales son muy bajas. En cuanto la extracción de nutrientes por grano de cacao, se puede observar en el cuadro 30, que los SAFs clonales muestran media de 25.61 a 28.66 kg de N/ha, 3.37 a 3.77 kg de P/ha y 34.37 a 38.47 kg de K/ha. Los SAFs tradicionales presentan una media de 18.35 a 38.61 kg de N/ha, 2.42 a 5.08 kg de P/ha y 24.63 a 51.82 kg de K/ha. En cuanto a las salidas por la cáscara de cacao, los SAFs clonales tienen promedio de 10.11 a 11.31 kg de N/ha, mientras que los SAFs tradicionales muestran 7.25 a 15.24 kg de N/ha. Para P presentan valores similares que van desde 0.97 a 2.03 kg de P/ha. Cabe destacar que el K es el nutriente que presenta una mayor salida de 28.98 a 60.96 kg de K/ha en ambos sistemas.

En cuanto a las salidas por el cultivo de bananos de los SAFs, los cacaotales clonales son los que presentan mayor salida de N, P, K con promedios de 7.69 a 4.65 kg de N/ha, 0.99 a 0.60 kg de P/ha y 26.29 a 7.65 kg de K/ha, mientras que los SAFs tradicionales presentaron valores menores. Por otro lado, en relación con la salida de zapote, los SAFs clonales muestran salidas de 0.22 a 2.36 kg de N/ha, 0.02 a 0.24 kg de P/ha y 0.32 a 21.74 kg de K/ha, los SAFs tradicionales muestran salida de cítricos de 0.28 a 0.13 kg de N/ha, 0.50 a 0.03 kg de P/ha y 0.40 a 0.21 kg de K/ha.

Cuadro 28. Salida de nutrientes N, P, K (kg/ha) en los sistemas agroforestales

Nutriente	Fuente	Clonal 10 años	Clonal 20 años	Tradicional 10 años	Tradicional 20 años
		Kilogramo/ha	Kilogramo/ha	Kilogramo/ha	Kilogramo/ha
N	Cacao seco	28.66	25.61	38.61	18.35
	Cáscara cacao	11.31	10.11	15.24	7.25
	bananos	4.65	7.69	0.62	0.47
	zapote	2.36	0.22	-	-
	limones	-	-	-	0.28
	Naranjas	-	-	0.13	-
	Total	46.98	43.63	54.60	26.36
P	Cacao seco	3.77	3.37	5.08	2.42
	Cáscara cacao	1.51	1.35	2.03	0.97
	bananos	0.60	0.99	0.08	0.06
	zapote	0.24	0.02	-	-
	limones	-	-	-	0.50
	naranjas	-	-	0.03	-
	Total	6.12	5.73	7.22	3.95
K	Cacao seco	38.47	34.37	51.82	24.63
	Cáscara cacao	45.24	40.44	60.96	28.98
	bananos	7.65	26.29	2.12	1.59
	zapote	21.74	0.32	-	-
	limones	-	-	-	0.40
	naranjas	-	-	0.21	-
	Total	113.1	101.42	115.11	55.6

6.8. Balance de nutrientes de los sistemas agroforestales

Hubo balances positivos y negativos dependiendo del tipo de sistema, pero para el K todos los balances fueron negativos. Como se muestra en el cuadro 31, ambos SAF clonales presentan balances negativos -26.31 a -27.53 kg de N/ha, -3.67 a -3.75 kg de P/ha y -99.36 a -110.73 kg de K/ha debido a la poca incorporación de nutrientes que provienen de las diferentes entradas. Los cacaotales tradicionales presentan diferencias significativas ($P=0.0001$) en balances positivos con relación a N 10.73 a 29.19 kg de N/ha. Por otra parte, se observa que el K presentan balances negativos -40.19 a -110.73 kg de K/ha para todas las fincas.

Nutriente	Clonal 10 años				Clonal 20 años				Tradicional 10 años				Tradicional 20 años				p-valor
	Exist	Ent	Sal	Balance	Exist	Ent	Sal	Balance	Exist	Ent	Sal	Balance	Exist	Ent	Sal	Balance	
	Media± E. E				Media± E. E				Media± E. E				Media± E. E				
N	282	20.67	46.98	-26.31±1.29c	414	16.1	43.63	-27.53±1.29c	241	65.33	54.60	10.73±1.29b	229	55.55	26.36	29.19±1.29a	0.0001
P	38	2.37	6.12	-3.75	29	2.06	5.73	-3.67	125	51.5	7.22	43.93	59	15.41	3.95	11.46	N/S
K	170	2.37	113.10	-110.73	207	2.06	101.42	-99.36	118	37.08	115.11	-78.03	257	15.41	55.60	-40.19	N/S

Cuadro 29. Balance de nutrientes actual

N/S no hay diferencias significativas

6.9. Balance de nutrientes con objetivo de 1016 kg/ha/año

Con el objetivo de lograr un balance de nutrientes con rendimiento de 1016 kg/ha/año de cacao, es posible observar en el cuadro 32 que los cacaotales tradicionales presentaran balances positivos de N y P 0.96 a 10.74 kg de N/ha y 7.74 a 44.28 kg de P/ha, mientras que los SAFs clonales seguirán presentando balances negativos -40.18 a 45.65 kg de N/ha, -5.58 a -6.07 kg de P/ha y -137.33 a 139.80 kg de K/ha. Sin embargo, para el K todos necesitarían más entradas.

Cuadro 30. Balance de nutrientes con objetivo de 1016kg/ha/año

Nutriente	Clonal 10 años				Clonal 20 años				Tradicional 10 años				Tradicional 20 años			
	Exist	Ent	Sal	Balance	Exist	Ent	Sal	Balance	Exist	Ent	Sal	Balance	Exist	Ent	Sal	Balance
N	282	20.67	60.85	-40.18	414	16.1	61.75	-45.65	241	65.33	54.59	10.74	229	55.55	54.59	0.96
P	38	2.37	7.95	-5.58	29	2.06	8.13	-6.07	125	51.5	7.22	44.28	59	15.41	7.67	7.74
K	170	2.37	142.17	-139.80	207	2.06	139.39	-137.33	118	37.08	115.11	-78.03	257	15.41	114.77	-99.36

6.10. Relación del balance de nutrientes con el rendimiento de cacao (kg/ha) de los sistemas agroforestales clonales y tradicionales

En las figuras 6, 7 y 8, se puede apreciar una relación positiva de las entradas y balances con los rendimientos de ambos sistemas. Para el caso de N, lo más importante son las entradas (los clonales presentan más existencia, pero poca entrada, mientras que los SAFs tradicionales muestran menor existencia, pero tienen mayor entrada, lo que nos indica un mayor rendimiento y mejor balance). Como se observa en la figura el SAF tradicional de 10 años fue el que presentó mejor entrada y un balance positivo. Un ejemplo que muestra estos valores, es que si se quiere tener un balance positivo en el SAF clonal de 20 años en el cual presenta entradas de 15 a 20 de N, se debe duplicar o triplicar para así nivelar con las salidas para obtener un buen balance.

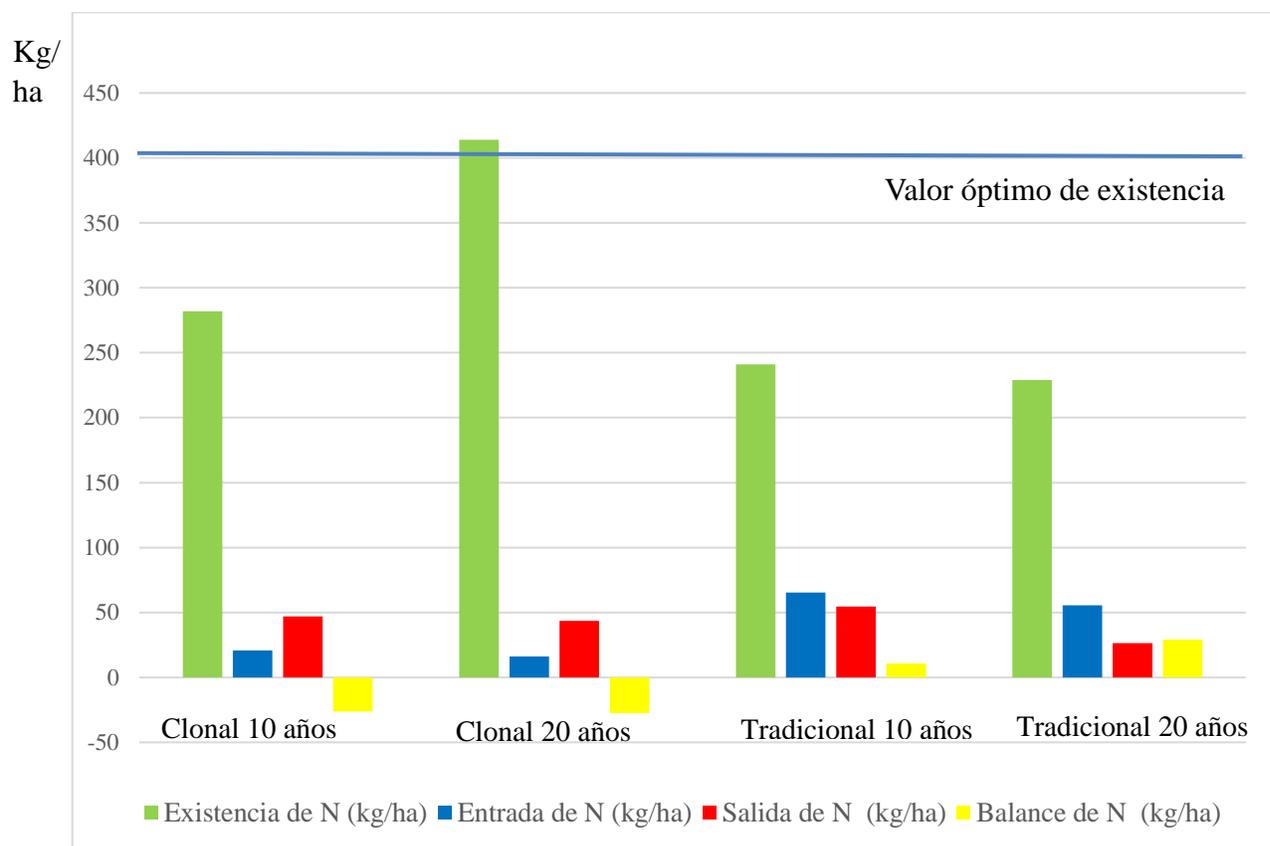


Figura 6. Existencia, entradas y salidas N

Cuadro 31. Caracterización de los SAFs

	Clonal 10 años	Clonal 20 años	Tradicional 10 años	Tradicional 20 años
Rendimiento (kg/ha)	754	674	1016	483
Abono (kg/ha)	237	206	2060	1541
Densidad cacao (planta/ha)	1111	816	769	625
Especie dominante en el dosel	Frutales	Maderables	Leguminosas	Leguminosas

Para el caso de P, se muestra en la figura 7 que los SAFs tradicionales se encuentran por encima del valor óptimo de existencia, mientras que los SAFs clonales están cercanos del valor sugerido. Para las entradas y balance, se observa que los cacaotales clonales registraron menores entradas y balances ligeramente negativos. Por otra parte, los SAFs tradicionales mostraron mayores entradas y balances positivos.

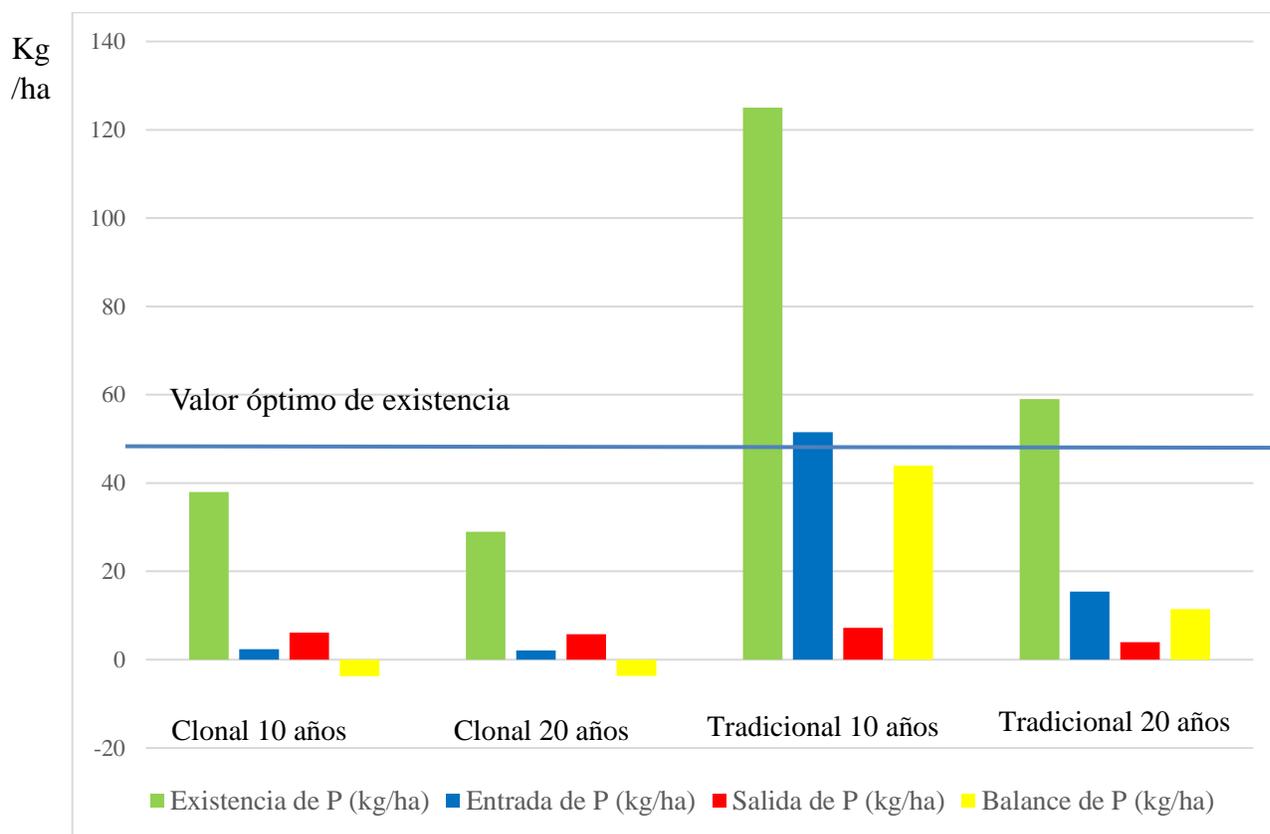


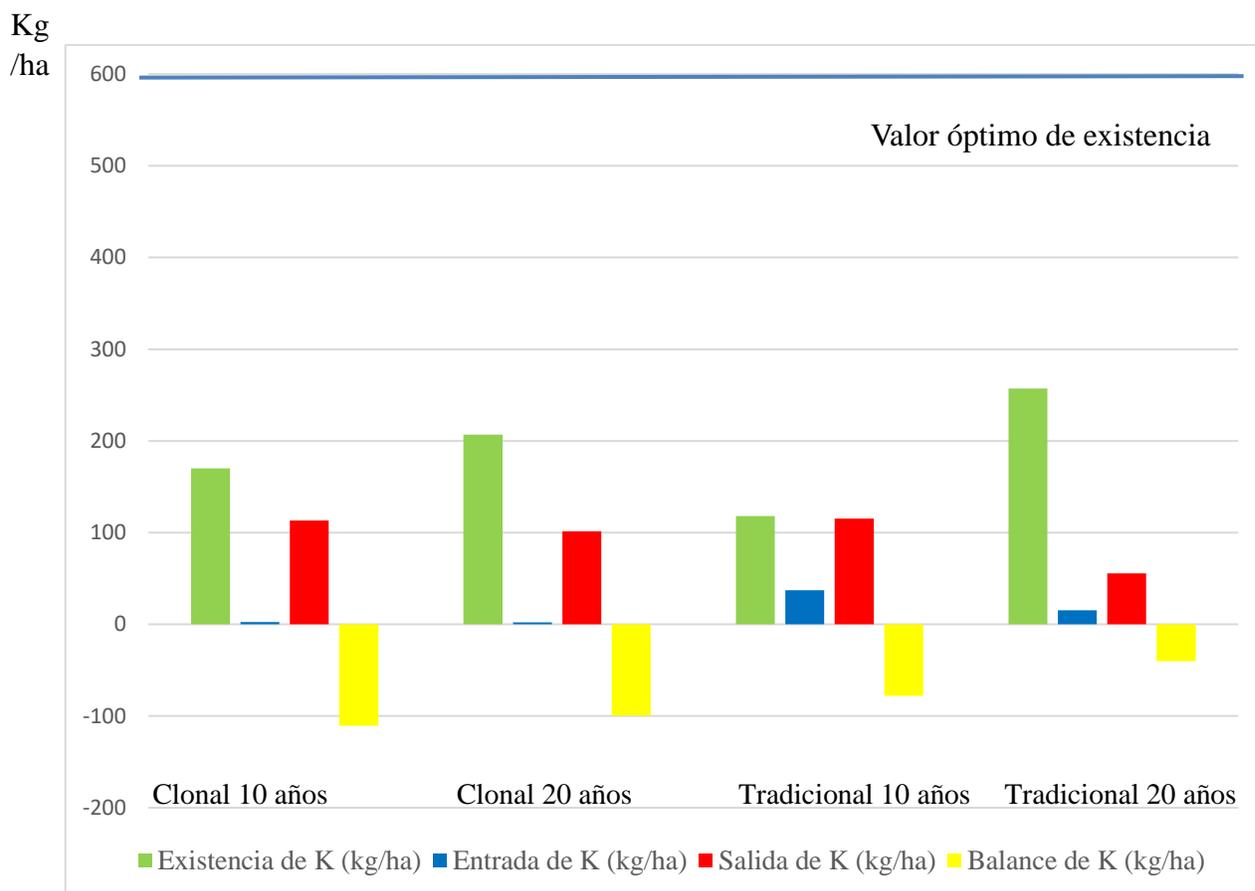
Figura 7. Existencia, entradas y salidas P

Cuadro 32. Caracterización de los SAFs

	Clonal 10 años	Clonal 20 años	Tradicional 10 años	Tradicional 20 años
Rendimiento (kg/ha)	754	674	1016	483
Abono (kg/ha)	237	206	2060	1541
Densidad cacao (planta/ha)	1111	816	769	625
Especie dominante en el dosel	Frutales	Maderables	Leguminosas	Leguminosas

Para el K, se requiere un valor óptimo de 600 kg de K/ha, como muestra la figura 8, todos los SAFs evaluados están por debajo de las necesidades nutricionales que el cacao requiere para su estado de producción. Todos los cacaotales presentan valores cercanos a los 200 kg/ha de existencia de K. El SAF tradicional de 10 años fue el que presentó mejor entradas en relación con los demás. Una muestra importante que refleja esta figura, es que todos los SAFs clonales

y tradicionales presentaron balances negativos, siendo los tradicionales que muestran balances menos negativos.



	Clonal 10 años	Clonal 20 años	Tradicional 10 años	Tradicional 20 años
Rendimiento (kg/ha)	754	674	1016	483
Abono (kg/ha)	237	206	2060	1541
Densidad cacao (planta/ha)	1111	816	769	625
Especie dominante en el dosel	Frutales	Maderables	Leguminosas	Leguminosas

Figura 8. Existencia, entradas y salidas K

En la figura 9, se aprecian los SAFS clonales presentaron balances negativos de N, P, K, mientras que los tradicionales presentan balances positivos con N y P esto se debe a la mayor cantidad de aplicación de abonos por hectárea, a la presencia de árboles leguminosos, de los

cuales los tradicionales registraron densidades mayores de este tipo de árboles. Cabe destacar que los SAF tradicionales para el K es menos negativo que los sistemas clonales. Se debe considerar que el K es el elemento más crítico y más significativo en este estudio, por lo que se debe poner énfasis para aumentar este nutriente.

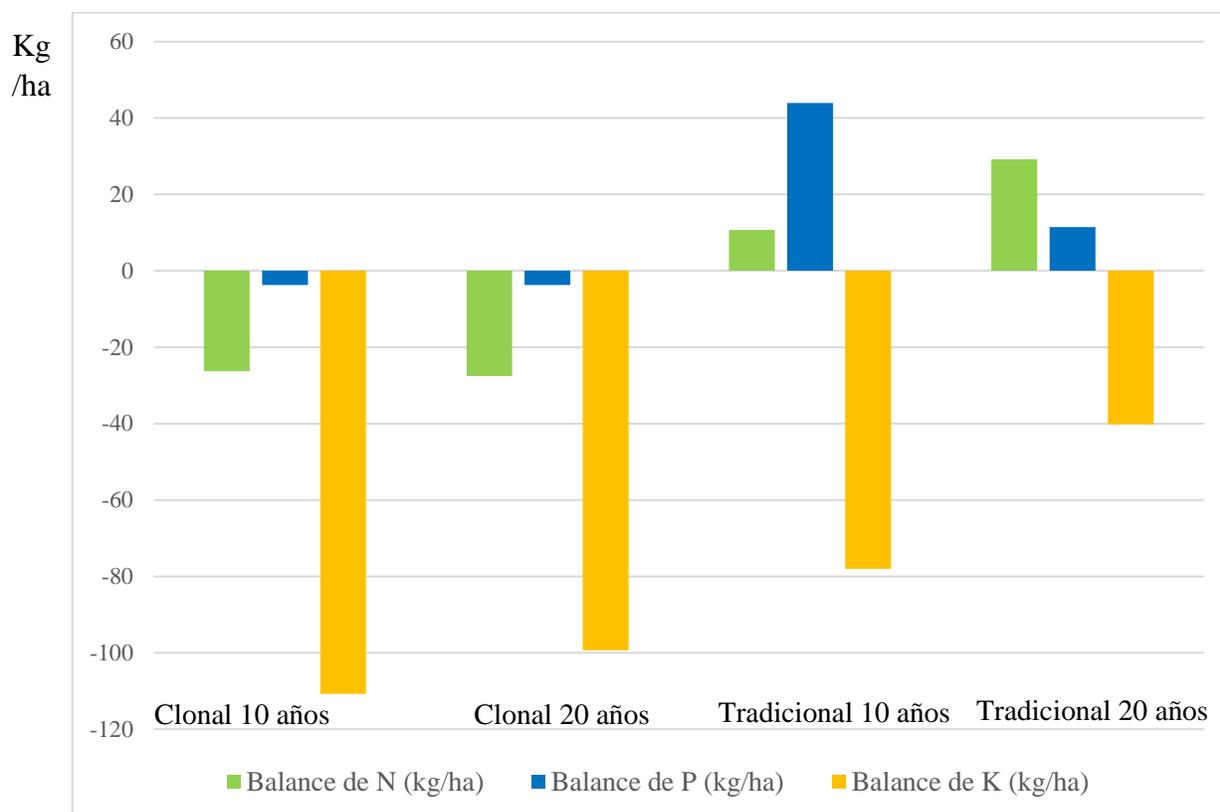


Figura 9. Balance de nutrientes N, P, K

Cuadro 33. Caracterización de los SAFs

	Clonal 10 años	Clonal 20 años	Tradicional 10 años	Tradicional 20 años
Rendimiento (kg/ha)	754	674	1016	483
Abono (kg/ha)	237	206	2060	1541
Densidad cacao (planta/ha)	1111	816	769	625
Especie dominante en el dosel	Frutales	Maderables	Leguminosas	Leguminosas

7. DISCUSIÓN

7.1. Fertilidad y existencia de nutrientes en los sistemas agroforestales y tradicionales

Los suelos evaluados en la investigación de los SAFS clonales y tradicionales, en general, presentan textura franco a franco arcilloso, con alto contenido de materia orgánica y densidad aparente menor a 1 gr/cm^3 , lo cual refleja buena estructura. Estas características son similares en suelos de cacao en otros países. Lo mismo ocurrió en un estudio realizado en el municipio de Waslala, Nicaragua donde se evaluó la densidad aparente en sistemas agroforestales de cacao orgánico, encontrando que la densidad aparente fue igual menos a 1 gr/cm^3 (Garro 2010). Esto ocurrió en forma similar en una investigación en Costa Rica, la cual presentó valores de densidad aparente entre $0.78\text{-}0.96 \text{ gr/cm}^3$ (Cerde 2008). En otra investigación realizada en Costa Rica, se estudió la variación de la densidad aparente en los diferentes órdenes de suelo (entisoles, inceptisoles, andisoles, vertisoles), se obtuvieron resultados ($0.88\text{-}0.99$), menores a 1 gr/cm^3 (Alvarado y Forsythe 2005). Estos hallazgos indican que los suelos cacaoteros pueden tener buenas características físicas que es importante componente de la fertilidad, pero no garantiza siempre una fertilidad química como se observa más adelante.

Los SAFs registraron altos contenidos de materia orgánica, los SAFs tradicionales alrededor de 7% y los SAFs clonales aproximadamente un 11%. Esto se debe por el tipo de suelos y también al aporte de biomasa de los árboles de cacao, amapola y piñon (*Erythrina spp* y *Gliricidia sepium*) (Cerde 2008). Esta es una característica importante que los cacaoteros deben mantener. En otros países, la materia orgánica en suelos de cacao es pobre y limita la producción. La materia orgánica contribuye a mejorar indicadores de calidad de suelo como ser: buena densidad aparente, adecuada estructura, baja acidez, disponibilidad de nutrientes y la disminución de metales pesados (Bot & Benitez 2005; Alloway, 2013 citado por Arévalo-Gardini *et al.* 2016). La materia orgánica sería un indicador de que hay buena biología de suelos, aunque no se midió en esta investigación. En otros estudios está positivamente correlacionada con biomasa microbiana y lombrices (Cerde 2008).

El tema de acidez es crítico para cualquier cultivo incluido el cacao, en los suelos evaluados se encontró que no existen problemas en ese aspecto. En la investigación realizada los SAFs tradicionales presentaron pH cercanos a 7, lo que representan suelos neutros prácticamente ideal para el cultivo. Según Snoeck *et al.* 2016, tomando en cuenta los niveles de fertilización para el estado nutricional del suelo en el cultivo de cacao, el pH deber estar entre los valores 5.1-7.0, y según Enriquez (1985) presenta parámetros de pH de 5.0-7.6. De acuerdo a una investigación realizada en la Universidad Técnica de Machala, donde se evaluó el contenido de pH en fincas de cacao con una profundidad de 30 cm, los valores de pH fueron de 6.8-7.2, donde son suelos con rangos superiores a 7, por lo cual se consideran básicos (Luis 2017). En Venezuela se realizó un estudio sobre el efecto de la fertilización inorgánica, sobre la disponibilidad de nutrimentos en el suelo en plantaciones de cacao presentó pH de 7 (López *et al.* 2007). Así mismo ocurrió en Colombia donde se evaluó la aborción y distribución de nutrientes en clones de cacao, el suelo demostró pH de 6.40 (Puentes-Páramo *et al.* 2016). De acuerdo con un estudio realizado en Nigeria, donde se investigó sobre la dinámica de

nutrientes de suelo en plantaciones de cacao viejo y joven, se observó que la plantación de cacao más antigua, tiene un pH de 6.9 mientras que la plantación joven se caracterizó con un valor de pH de 6.5 (Ipinmoroti y Ogeh 2015). No obstante, en otro estudio en Costa Rica presentaron valores de pH entre 4.31-6.02 (Furcal-Beriguete 2016). En otra investigación donde se estudió suelos litoral ecuatoriano plantado de cacao, se presentaron pH de 7.14 hasta 7.54 (Proaño 2006). El tener pH neutros es una ventaja de los suelos cacaoteros dominicanos.

De acuerdo con los resultados de esta investigación, una buena estructura de suelo, buen pH y alto contenido de materia orgánica, no siempre garantizan la existencia de nutrientes requeridos para la fase de producción de cacao. No se encontraron suelos que cumplan de formas integra las existencias de N, P, K para el cultivo. Hay suelos que, si cumplen con los requerimientos de N y P dependiendo del tipo de sistema, pero ninguno alcanzó los niveles deseables de K. Los resultados de los SAFs clonales y tradicionales en relación a la existencia de N, el cacaotal clonal de 20 años presentó un promedio de 414 kg de N/ha. Así mismo ocurrió en Malasia, donde se encontraron plantaciones de cacao, cuya existencia de N fue de 423 kg/ha (Ling 1986 citado por Hartemink 2005). Cabe destacar que los demás SAFs presentaron valores por debajo de 282 kg de N/ha. Según Thong *et al* 1978; Wessel citado por Garro 2010, los requerimientos de nutrientes de N para el cacao están entre 400 a 453 kg de N/ha. Así mismo ocurrió en Malasia. En un estudio realizado en Nigeria, donde se investigó sobre la dinámica de nutrientes de suelo en plantaciones de cacao viejo y joven, el contenido total de N en el suelo fue de 0.12 y 0.22 g kg⁻¹ (Ipinmoroti y Ogeh 2015). Para la existencia del P los SAFs tradicionales muestran promedios por encima de 59 a 125 kg de P/ha, mientras que los SAFs clonales están por debajo, siendo de 48 kg de P/ha (Saenz 1990, citado por Rojas s.f). Así mismo se encontraron valores similares en Malasia donde la existencia de P fue de 59-48 kg de P/ha (Ling 1986; Thong 1978, citado por Hartemink 2005). Por otra parte, en la misma investigación en Nigeria, los suelos de las plantaciones jóvenes de cacao mostraron contenido de P 22.93 mg de kg, mientras que el SAF viejo presento 8,93 mg de kg⁻¹ (Ipinmoroti y Ogeh 2015).

El K es uno de los elementos más importante para la producción y se necesita 600 kg/ha de existencias (Mejía 2000). En una investigación, en Malasia, se demostró que sí cumplen con la existencia de este nutriente presentando un valor óptimo de 633 kg de K/ha (Thong 1978, citado por Hartemink 2005). No obstante, ninguno de los SAFs evaluados llegó a ese nivel; se encontró una deficiencia importante de este nutriente, porque los valores estuvieron en 150 a 257 kg de K/ha, es decir, que no llegan ni al 50% de la existencia deseada de acuerdo con la literatura. Por otra parte, en un estudio realizado en Costa Rica, se observó en plantaciones de cacao que existen deficiencia en la existencia de K con valor de 105 kg de K/ha (Alpizar *et al.* 1986; Heuveldop *et al.* 1988 citado por Hartemink 2005). Este hallazgo indica que los productores cacaoteros dominicanos deben poner especial prioridad a suplir este nutriente.

7.2. Entradas de nutrientes de los sistemas agroforestales

En los SAF clonales y tradicionales evaluados, se encontró que la principal fuente de entrada son los abonos orgánicos, la cantidad que se aplica es muy variable entre los tipos de sistemas. Los resultados de la práctica de aplicación de abonos orgánicos en los SAFs demuestran que en los SAFs clonales entran menos nutrientes por parte de los abonos como se observa en el cuadro 30, no obstante, en los cacaotales tradicionales se presentan mayores valores 30 a 41 kg de N/ha, 15 a 51 kg de P/ha y 15 a 37 kg de K/ha de lombricompost y gallinaza. Cabe destacar que en los SAFs tradicionales la aplicación sería de 4 o 6 veces mayor que en los clonales, por tanto, la entrada de N, P, K serían de igual proporción. Las cantidades promedio que aplican los productores son de 206 a 2060 de lombricompost y gallinaza kg/ha, las cuales se realizan dos veces al año. Es muy importante mencionar que las aplicaciones que efectúan en ambos SAFs son muy pocas para satisfacer las necesidades nutricionales del cultivo, por lo que si se quiere producir 1000 kg/ha de cacao solo un tipo de SAF satisface con estas condiciones. En general, en los cacaotales dominicanos la mayoría de los productores no usan abonos orgánicos por lo cual las entradas serían similares al tipo de cacaotal que menos entradas tiene. Estudios realizados en suelos oxisol mostraron que el uso de abonos orgánicos (cáscara de cacao) promovió un incremento del 133 % en la producción de semilla secas de cacao (Snoeck *et al.*2016).

El contenido de N es un buen indicador de la calidad nutricional de un abono orgánico. En la investigación, se obtuvieron datos de cuanto aporta el lombricompost y gallinaza de N, siendo esto un promedio de 2 % de N. De acuerdo a Soto y Meléndez 2004, en Costa Rica, los abonos de lombricompost presentan valores de 1.5 a 2 % de N, por lo que podemos decir que los abonos utilizados en las fincas son de buena calidad, no obstante, estará alrededor del 2%, esto involucra el uso de grandes cantidades de abonos orgánicos y sintéticos que pueden ser permitidos por las certificaciones.

Para los SAFS es complicado tener un dato de fijación de N por árboles leguminosos porque los datos pueden ser generales. En SAFs sería conveniente tener un estimado de la cantidad fijada por árbol o por la cantidad fijada por un conjunto de árboles. En el caso de los árboles leguminosos que están presentes en los cacaotales clonales y tradicionales, se utilizó un estimado general que podría ser mejorado al realizar más investigaciones sobre la entrada por raíces y podas. Según Young 1997 citado por Marrone 2013, indica que la fijación de N de los árboles leguminosos en diferentes SAFs presenta un promedio anual de 20 t/h de N. De acuerdo con (Sileshi y Mafongoya 2007) se encontró que los árboles leguminosos de *Gliricidia sepium* aportan 9.37 t/ha. En una investigación realizada en Venezuela donde se estudiaron fijación de N con *Erythrina* en cacaotales, presentaron promedio del contenido de N en los nódulos de 22 kg de N/ha⁻¹ (Gladys *et. al.* 1984). En SAFs de café se han con guabas (*Inga edulis*), madero negro (*Gliricidia sepium*) fijan 22 kg de N/ha (Jeremy Hagggar 2000).

En el caso de las lluvias, el aporte no es mucho, esto dependerá de la precipitación anual, los SAFs clonales y tradicionales presentaron precipitación entre 1308 a 1500 mm/año, lo que indica que ambos sistemas presentan entradas de 5 kg de N/ha. Según Hartemink 2005 en países como en Venezuela y Camerún la disposición de las lluvias varía entre varían entre 5 a

12 kg de N/ha. No obstante, Sánchez 1976, menciona que la contribución anual por las lluvias en zonas tropicales está alrededor de 4 a 8 kg de N/ha.

7.3. Salidas de nutrientes de los sistemas agroforestales

Las salidas de cacao seco de los cacaotales clonales y tradicionales son similares a otras investigaciones realizadas en otros países, siendo estas de 18.35 a 38.61 kg de N/ha, 2.42 a 5.08 kg de P/ha y 24.63 a 51.82 kg de K/ha, pueden ser comparadas con lo demostrado en estudio realizado en Costa Rica, donde se evaluó la extracción de nutrientes por cacao seco, encontrándose valores de 23.02 a 24.10 kg de N/ha, 5.68 a 6.22 kg de P/ha y 10.5 a 11.2 kg de K/ha (Furcal-Beriguete 2016). De acuerdo con Puentes-Páramo *et al.* 2014, en una investigación en Colombia, se demostró la extracción de nutrientes con cuatro tipos de clones (CCN-51, ICS-95, TSH-565 y ICS-39), los que presentaron valores desde 20.60 a 23.57 kg de N/ha, 4.72 a 6.00 kg de P/ha y 10.76 a 15.95 kg de K/ha. Los rendimientos en kg/ha de los clones que se obtuvieron en este estudio fueron (1004,693,947 y 838 kg de cacao/ha). Otro estudio en Brasil demostró que las salidas de cacao seco presentaron valores entre 25.2 de kg de N/ha, 4.5 kg de P/ha y 10.1 kg de K/ha. En la presente investigación de SAFs clonales y tradicionales, la extracción de la cáscara de cacao presenta promedio de 7.25 a 15.24 kg de N/ha, a 0.97 a 2.03 kg de P/ha y 28.98 a 60.96 kg de K/ha. En el mismo estudio realizado en Costa Rica, se presentaron valores de 10.09 a 12.62 kg de N/ha, 1.71 a 2.12 kg de P/ha y 33.11 a 36.73 kg de K/ha (Furcal-Beriguete 2016). En Brasil, se obtuvieron valores de extracción de la cáscara de cacao con 14.9 a 28.6 kg de N/ha, 1.2 a 2.3 kg de P/ha y 25 a 37 kg de K/ha (Fontes *et al.* 2014), esto quiere decir que los resultados obtenidos de los SAFS clonales y tradicionales con respecto a la extracción de nutrientes por cacao seco y cáscara de cacao, son similares a los estudios mencionados anteriormente.

Entre los productos que salen de los SAFs clonales y tradicionales encontramos, bananos, zapotes, limones y naranjas, los cuales contribuyen a otras fuentes de salidas de nutrientes. En el caso de bananos, los SAFs evaluados, mostraron promedios de 0.62 a 7.69 kg de N/ha, 0.06 a 0.99 kg de P/ha y 2.12 a 26.29 kg de K/ha. Según Garro 2010 en una investigación realizada en Nicaragua, donde se obtuvo la extracción de nutrientes por bananos se presentaron resultados de 2.7 a 4.5 kg de N/ha, 0.9 a 1,6 de kg de P/ha y 4.2 a 6.9 kg de K/ha. Cabe destacar que estos valores de N y P son similares a los resultados que presentan los SAFs clonales y tradicionales, mientras que, en el caso del K, existen ciertas diferencias.

Por otra parte, en cuanto a la producción de zapotes, los SAFs clonales presentaron valores entre 33.6 a 362 kg/ha, los cuales extraen de 0.22 a 2.36 kg de N/ha, 0.02 a 0.24 kg de P/ha y 0.32 a 21.74 kg de K/ha. En SAFs tradicionales, en relación a los cítricos se obtuvieron rendimientos entre 106.67 a 250 kg/ha, con un contenido de extracción de 0.13 a 0.28 kg de N/ha, 0.03 a 0.50 kg de P/ha y 0.21 a 0.40 kg de K/ha. Por lo que se puede observar que las salidas de nutrientes de los diferentes frutales son menores en relación a las de cacao y bananos. En caso de tener una mayor producción se podría tener un mejor nivel de aprovechamiento en salidas, tal como ocurre en los cacaotales en Centroamérica (Cerde 2014).

Entre los productos que salen de los SAFs clonales y tradicionales encontramos, bananos, zapotes, limones y naranjas, los cuales contribuyen a las salidas de nutrientes. Entre el contenido de nutrientes que extraen los bananos y otras frutas encontramos 0.22 a 7.69 kg de N/ha, 0.02 a 0.99 kg de P/ha y 0.21 a 26.29 kg de K/ha, lo cual representa la décima parte de lo que extrae el cacao. Las extracciones de nutrientes por las frutas, no conducirían drásticamente a las salidas como para que sea una preocupación, por lo que se estima que se podría tener más rendimientos de productos agroforestales sin que representen un problema para el balance de nutrientes. Esas salidas pueden ser compensadas con los árboles leguminosos del dosel y el reciclaje de todos los árboles del SAFs (Marrone 2013).

7.4. Balance de nutrientes de los sistemas agroforestales

En los SAFS clonales y tradicionales de acuerdo a las entradas y salidas, se presentaron balances de nutrientes positivos y negativos de N, P, K. En general se puede observar que para el N y P las fincas clonales presentaron balances negativos -26. a - 27 kg de N/ha y -3.67 a - 3.75 kg de P/ha, así mismo Garro 2010 realizó una investigación en Nicaragua donde presentan balances negativos de N -14.3 kg/ha. De igual forma, de acuerdo con Hymenaea 2012, en un estudio realizado en Matagalpa, Nicaragua, también se muestran balances negativos -7.9 a 15.8 kg de N/ha y -3.65 kg de P/ha. En otras investigaciones en países como Malasia, Venezuela y Camerún presentaron balances de nutrientes positivos con valores 25 hasta 33 kg de N/ha, 4.5 a 7 kg de P/ha (Hartemink 2005). Otro estudio en Brasil de balance de nutrientes en SAFs cacao, presentaron balances positivos en N y P con valores de 85 a 123 de kg N/ha, 1.2 a 4.3 kg de P/ha. En esa misma investigación mostraron balances negativos en K con valor -12 a -22 kg de K/ha (Fontes *et al.* 2014).

En el caso del K los cacaotales clonales y tradicionales presentaron balances negativos, lo cual nos indica que en estos SAFs se presentan limitantes con respecto a este nutriente. Se demostró en este estudio que el K es el elemento más crítico y más significativo, aun siendo manejados con abonos orgánicos, suelen ser negativos en las fincas donde no hay fertilización, lo que es común República Dominicana y Latinoamérica en general, por lo que los productores están tratando de incrementar su rendimiento. Esta investigación sugiere que es necesario enfocarse en conseguir fuentes de N que sean accesibles para los productores convencionales. Hay abonos que proveen N, aunque el porcentaje del contenido sea bajo. Para el K ya que presenta balances negativos y con menos fuentes de existencias en el suelo, se debe buscar otras fuentes, como las que proceden de la poda de árboles viejos de cacao que tienen K en sus tejidos leñosos, así como la cáscara de cacao convertirlas en abonos para distribuirla mejor (López 2011). Estos resultados es un hallazgo importante, porque permite saber que son negativos, que no son una fuente ilimitada por lo que es necesario ir compensando, teniendo en cuenta que los cacaotales son de edades avanzadas en el país.

7.5. Implicaciones del estudio para la cacaocultura dominicana y regional

En la investigación realizada de los SAFS clonales y tradicionales, se reconoció la necesidad de hacer nivelaciones en las existencias de N, P, K presentes en el suelo, con la finalidad de conservar los nutrientes y aumentar las reservas de los mismos. Es importante mencionar que en este estudio se identificó las diferentes entradas y salidas de nutrientes que se presentan en los SAFs, lo que permitió conocer los balances positivos y negativos de las fincas, que, a pesar de tener un buen suelo, esto no garantiza la fertilidad según los requerimientos del cacao. En la investigación de los SAFs clonales y tradicionales se descubrió que, con respecto a la fertilidad química del suelo, el contenido del K es crítico para las necesidades nutricionales del cacao lo que sugiere la importancia de atender ese problema.

Por otro lado, se comprobó que es importante realizar las aplicaciones de abonos orgánicos para favorecer la disponibilidad de nutrientes, en el caso de los cacaotales tradicionales se mantiene un balance positivo del N, mientras que el P no presenta problemas. Este estudio puede servir como una guía para cambiar lo que está pasando con la cacaocultura dominicana en donde la mayoría de los cacaotales tradicionales no se fertiliza, con esta investigación se demostró que los tradicionales evaluados presentaron un balance positivo debido a las aplicaciones de abonos orgánicos, cabe destacar que la cantidad de árboles leguminosos que se encuentran en estos sistemas no alcanzarían para suplir el aporte necesario de N. Esto es un indicador que los cacaotales de las diferentes regiones pudieran presentar balances negativos, por lo que se pone en riesgo la sostenibilidad del suelo. Otra implicación importante del estudio es lo que puede venir en el futuro para la cacaocultura dominicana, donde es posible que se cambie los cacaotales de semillas a cacao injertos o se puedan incorporar nuevas áreas de cacao injertados, aunque los sitios presenten suelos buenos, se necesita poner atención sobre los nutrientes N y K, por lo tanto, se sugiere buscar fuentes para mejorar las deficiencias del suelo.

Esta investigación es un reflejo de lo que pueda pasar para la cacaocultura dominicana y en el mundo, donde se han tomado en cuenta SAF tradicionales con semillas y SAFs de clones mejorados, que es una tendencia general a nivel regional y hasta mundial. Muchos productores quieren rehabilitar con semillas híbridas, lo que sigue siendo una cacaocultura tradicional y otros van a renovar con clones mejorados o establecer cacaotales nuevos. Este estudio nos refleja lo que pueda pasar con todos estos tipos de SAFs con sus balances de nutrientes que demuestran que los balances pueden ser negativos con un rendimiento moderado, como los que hay en esas plantaciones por lo que si se quiere producir 1000 kg de cacao/ha es necesario fertilizar y no confiar en que las existencias son ilimitadas. Estos datos nos sugieren cuanto habría que balancear de cada nutriente. Este estudio podría servir como base para otras investigaciones como, por ejemplo: la incorporación de dosis de abonos orgánicos y otras fuentes sintéticas que pueden ser permitidas en certificaciones. Por otra parte, profundizar cuanto se puede fijar de N de una planta leguminosa, estimar y dar orientaciones para hacer cálculos ya a nivel de hectáreas. Así mismo, hace falta investigación para tener curvas de absorción de nutrientes para un KG de cacao en cuanto al contenido de N, P, K que debería haber en el suelo, lo que podría a futuro guiar mucho mejor todos los programas de fertilización.

8. CONCLUSIONES

Los sistemas clonales y tradicionales mostraron buen contenido de materia orgánica y adecuada densidad aparente. Sin embargo, todos los sistemas presentaron deficiencias en las existencias de N y K requeridos por el cultivo, lo cual refleja que la fertilidad química debería mejorarse.

Los sistemas clonales y tradicionales presentaron diferencias en su estructura agroforestal, especialmente en cuanto a densidades de cacao y de árboles de servicio. Los cacaotales clonales registraron mayor densidad de plantas de cacao (800 a 1000 plantas por hectárea) que los cacaotales tradicionales (600 a 700 plantas por hectárea). En la mayoría de los sistemas se evidenció dominancia de árboles leguminosos, pero en especial en los sistemas tradicionales. También se encontraron frutales y maderables en menos abundancia.

El manejo de los sistemas clonales y tradicionales se puede considerar como bueno, no intensivo, pero con las prácticas agronómicas mínimas necesarias para mantener bien a las plantas. En todos los sistemas, se registró la aplicación de abonos orgánicos y se determinó que los cacaotales tradicionales son los que aplican más cantidad de abonos por hectárea.

En esta investigación, se registraron dos fuentes principales de entradas de nutrientes: por abonos orgánicos y por fijación de N. Los abonos orgánicos (lombricompost y gallinaza) fueron las principales fuentes de N y P, y los árboles leguminosos fueron la segunda entrada en fijación de N. También se consideró la entrada de nutrientes por lluvias, pero fueron menores y además no revisten tanta importancia para los productores al ser fuentes que no están bajo su control.

La salida de nutrientes más importante fue dada por la producción-extracción de los granos de cacao. Lo que sale de nutrientes por otras frutas y otros productos agroforestales no fue considerable, muy bajo con las producciones actuales. Esto sugiere que se podría aumentar la producción de otros productos agroforestales sin afectar críticamente el balance.

En cuanto al balance de nutrientes, hubo diferencias. Los sistemas clonales presentaron en el caso de N, P, K balances negativos, mientras que los cacaotales tradicionales mostraron balances positivos en N y P, pero siempre negativo para K. Cabe destacar que los tradicionales presentaron más entradas debido a la incorporación de los abonos orgánicos, sin esta entrada no se presentaría un balance positivo, todo sería negativo tal como estaría ocurriendo en la cacaocultura dominicana donde se conoce que la mayoría de los productores no fertilizan sus cacaotales.

Se debe poner especial atención a conseguir fuentes de K, ya que fue el nutriente con más deficiencias en las existencias y con valores más negativos en los balances.

En el cacaotal clonal de 10 años se registró cantidad importante de abonos, y también registró buen rendimiento. Evidentemente, los mayores rendimientos en cacaotales clonales y tradicionales de 10 años, no se puede atribuir solamente a su balance positivo, sino también al buen manejo realizado y también posiblemente a otros factores (la edad, por ejemplo). Sin

embrago, sirven como ejemplo para otros productores como mensaje de que, si realizan las aplicaciones de abonos orgánicos, podrían mejorar sus rendimientos.

9. RECOMENDACIONES

- Concientizar a los productores sobre la importancia de mantener la fertilidad del suelo de sus cacaotales para mantener una sostenibilidad de los sistemas, especialmente mejorar las existencias de K.
- Realizar análisis de laboratorio de las propiedades químicas y físicas del suelo al menos cada dos o tres años, para así seguir conociendo su estado de fertilidad y verificar los cambios que estos sufren a través del tiempo.
- Aumentar las cantidades de aplicaciones de abonos orgánicos por hectárea en los sistemas clonales, o buscar fuentes alternativas de mayor facilidad de aplicación y costo.
- Aumentar el contenido de N, K para incrementar la producción de cacao en los sistemas clonales
- Aumentar el contenido de K en el suelo para todos los sistemas, con el objetivo de suplir las deficiencias de presentes de este nutriente.
- Realizar la práctica de las podas en los árboles de servicios, ya que los tejidos viejos al descomponerse serían fuente de nutrientes para el suelo.
- Ejecutar un análisis de composición de los microorganismos, para conocer el efecto de estos en la descomposición de la materia orgánica, ya que esto es importante en el proceso de ciclaje de nutrientes.
- Realizar un análisis foliar de las plantas de cacao y árboles presentes para conocer su estado nutricional.
- Capacitar a los técnicos y productores sobre los temas de fertilidad del suelo, importancia de las aplicaciones de los abonos orgánicos y realización de los análisis del suelo, esto con el fin de fortalecer sus conocimientos sobre los nutrientes y los procesos que se llevan a cabo en los sistemas agroforestales.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Alemán, R; Reyes, H; Bravo, C. 2017. Libro de Memorias: Simposio internacional sobre Manejo sostenible de tierras y seguridad alimentaria – Ecuador 2017 (en línea). s.l., s.e. 279 p. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/329153802>.
- Alvarado, A; Forsythe, W. 2005. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía costarricense* 29(1):85-94.
- Amores, F. 2009. La investigación en cacao y el desarrollo económico de su cadena de valor. Conferencia presentada en Taller: Investigaciones del INIAP y el sector privado. Abril 2009. INIAP, Estación Experimental Boliche
- Arévalo-Gardini, E; Obando-Cerpa, ME; Zúñiga-Cernades, LB; Arévalo-Hernández, CO; Baligar, V; He, Z. 2016. metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. *Ecología aplicada* 15(2):81. DOI: <https://doi.org/10.21704/rea.v15i2.747>.
- Batista, L. 2009. Guía Técnica El Cultivo de Cacao (en línea). Santo Domingo, República Dominicana. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal CEDAF 2(1):250. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0365-6691\(10\)70034-4](https://doi.org/10.1016/S0365-6691(10)70034-4).
- Beer, FM and J. 2002. Fine root dynamics of shaded cacao plantations in Costa Rica. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 103(3):239-248. DOI: <https://doi.org/10.1023/A>.
- Bertsch, F. 1995. Fertilidad de Suelos y Manejo de la Nutrición de Cultivos en Costa Rica (en línea). Centro de Investigaciones Agronómicas: Laboratorio de Suelos y Foliar 1:139. Disponible en http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria_Curso_Fertilidad_de_Suelos.pdf.
- CATIE. 2000. ¿Cómo calcular el balance de nutrientes de un cafetal y cacaotal? (506).
- Dawoe, EK; Isaac, ME; Quashie-Sam, J. 2010. Litterfall and litter nutrient dynamics under cocoa ecosystems in lowland humid Ghana. *Plant and Soil* 330(1):55-64. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0173-0>.
- Didier Snoeck, Louis Koko, Joel Joffre, Philippe Bastide, and PJ. 2016. Sustainable Agriculture Reviews. s.l., s.e., vol.19. p. 35-120 DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7>.
- Dostert, N; Roque, J; Cano, A; La torre, M; Weigend, M. 2011. Factsheet: Datos botánicos de cacao. botconsult GmbH :1-13.
- Edna Ivonne Leiva Rojas. Aspectos para la nutrición del cacao *Theobroma cacao* L.
- Enríquez 1985, G.A. Curso sobre el cultivo del cacao. Turrialba, C.R.: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1985.

- Enríquez 1985, G.A. Curso sobre el cultivo del cacao. Turrialba, C.R.: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1985.
- Fernández-Jiménez, G. 2007. Fertilización orgánica y mineral del zapote mamey (en línea). Disponible en <http://www.biblio.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/1435>.
- Franco, REJ y W. 1999. Producción de Hojarasca, aporte en nutrientes y descomposición de SAF de cacao y frutales.pdf. s.l., s.e.
- Fontes, AG; Gama-Rodrigues, AC; Gama-Rodrigues, EF; Sales, MVS; Costa, MG; Machado, RCR. 2014. Nutrient stocks in litterfall and litter in cocoa agroforests in Brazil. *Plant and Soil* 383(1-2):313-335. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2175-9>.
- Furcal Beriguete, P. 2016. Extracción de nutrientes por los frutos de cacao en dos localidades en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 28(1):113. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.23236>.
- Gama Rodriguez, A; Zevallos, A. 1991. Efecto de la fertilización en el desarrollo radicular de cacao en suelos de "Tabuleiros" del sur de Bahía, Brasil. Turrialba, Vol.41, No.2 135-141.
- Garro, FJE. 2010. Balance de nutrientes en sistemas agroforestales de cacao (theobroma cacao) orgánico en el municipio de waslala, Nicaragua. s.l., s.e.
- Gay, F. 2019. Metodología para medir la densidad aparente del suelo.
- Gay, F. 2019. Modelo hipotético de entradas y salidas y balance de nutrientes en sistemas agroforestales con cacao.
- Gladys Escalante, RH and JA2. 1984. Nitrogen Setting in Shadow Trees (*Ervthrina poeppigiana*) in cacaotales del norte de venezuela:223-230.
- González, MO. 2006. Conocimiento local y decisiones de los productores de Alto Beni, Bolivia, sobre el diseño y manejo de la sombra en sus cacaotales (en línea). s.l., s.e. Disponible en <http://www.worldcocoaoundation.org/scientific-research/research-library/documents/OrtizGonzalez2006.pdf>
- González, V; Pomares, F. 2008. Manual Técnico Fertilización y balance de nutrientes en sistemas agroecológicos. :1-24 p.
- Hartemink, AE. 2005. Nutrient Stocks, Nutrient Cycling, and Soil Changes in Cocoa Ecosystems: A Review. *Advances in Agronomy* 86:227-253 p. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)86005-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)86005-5).
- Hymenaea, D. 2012. Balance aparente de nutrientes N, P y K en dos agroecosistemas en San Ramón, Matagalpa, Nicaragua 2015-2016. s.l., s.e.
- ICCO 2015. ICCO Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, vol XLI. ICCO London: 120 p.
- Ipinmoroti, RR; Ogeh, JS. 2015. Soil Nutrient Dynamics under Old and Young Cocoa, Coffee and Cashew Plantations at Uhonmora, Edo State, Nigeria. *Journal of Tropical Soils* 19(2):75-80. DOI: <https://doi.org/10.5400/jts.2014.v19i2.75-80>.

- J. Beer, A. Bonnemann, W. Chavez, H.W. Fassbender, ACI and IM. 1990. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. *Agroforestry Systems* 4(3):175-189. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf02028353>.
- Jaime-Proañó, C. (2006). Determinación de la curva de absorción de nutrientes en el cultivo de cacao fino de aroma bajo riego localizado y su influencia en la salinidad del suelo, provincia del Guayas. X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Guayaquil: Sociedad Ecuatoriana de Ciencias del Suelo.
- Jeremy Haggar, AN y MB. 2000. ¿Cómo calcular el balance de nutrientes de un cafetal? (506).
- López, M; López de Rojas, I; España, M; Izquierdo, A; Herrera, L. 2007. Efecto de la fertilización inorgánica sobre la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, nivel nutricional de la planta y hongos micorrícicos arburculares en plantaciones de *Theobroma cacao*. *Agronomía Tropical* 57(1):31-43.
- López, P. 2011. “Elaboración De Compost a Partir De Cascarilla De Cacao”. *Espoch* 31(sup3.2). DOI: <https://doi.org/10.7705/biomedica.v31i0.530>.
- López, MV; Núñez, AM; González, JL; Cruz, JFD la; Rodríguez, O. 2017. Cacao: guía técnica para su mejoramiento y productividad en República Dominicana. :52 p.
- López, O; Ramírez, SI; Espinosa, S; Moreno, JL; Ruiz, C; Villarreal, JM; Rojas, JL. 2015. Manejo agroecológico de la nutrición en el cultivo del cacao (en línea). s.l., s.e. 2-128 p. Disponible en http://www.espacioimasd.unach.mx/libro/num7/Manejo_agroecologico_de_la_nutricio_n_en_el_cultivo_del_cacao.pdf.
- Luis, pmj. 2017. Evaluación del Estado Actual de Degradación del Suelo en Agroecosistemas de cacao y pasto en la granja Santa Inés (en línea). s.l., s.e. 35 p. Disponible en <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/11714>.
- Lutheran World Relief. 2013. *cacaomovil.com*. Obtenido de *cacaomovil.com*: <http://cacaomovil.com/>
- Malavolta, E., G.C. Vitti, e S.A. De Oliveira. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas. Principios e aplicações. 2a edicção. Piracicaba. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, BRASIL
- Maldonado, F; Jesús, M; Mata, J; Palma, DJ; Sergio, L; García, S; González, VA; Orgánica, DDEM; Sistemas, PYKENSDE; Tabasco, ACEN; mexicana, RF; Mares, FM; Mata, JJ; López, DJP; García, SS; Hernández, AG. 2006. *Revista Fitotecnia Mexicana* 2006 ‘Cedro-Plátano’ en Tabasco, México dynamics of organic mater, p and k in soils of the agroforestry systems ‘spanish cedar-banana’ in tabasco, MÉXICO.
- Marrone, P. 2013. Agroforestry and Soil Health: Linking Trees, Soil Biota, and Ecosystem Services. *Etica e Política* 15(1):583-605. DOI: <https://doi.org/10.1093/acprof>.

- Matlick, ABK; Weber, JA; Morales, G. s. f. Programa Exportando Calidad e Inocuidad. Análisis de la Cadena del valor del cacao en la República Dominicana.
- Mejía, L. 2000. Nutrición del cacao. En: Tecnología para el Mejoramiento del Sistema de Producción de Cacao. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica Bucaramanga, Colombia. pp. 33-35.
- Mellado Vázquez, A; Salazar García, S; Álvarez-Bravo, A; Hernández-Guerra, C. 2017. Remoción de nutrimentos por cosecha de limón persa en nayarit y Veracruz, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas (19):3939. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.662>.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2012. ministerio de medio ambiente y recursos naturales. Obtenido de Ministerio de medio ambiente y recursos naturales: <https://ambiente.gob.do/informacion-ambiental/informacion-provincial/hermanas-mirabal/>
- Ministerio de Medio ambiente y recursos naturales. 2012. ministerio de medio ambiente y recursos naturales. Obtenido de Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales: <https://ambiente.gob.do/informacion-ambiental/informacion-provincial/duarte>
- Nakayama, L. H. 2010. Avaliação do estado nutricional das combinações híbridas de cacauero cultivado no Latossolo Amarelo Distrofico Típico. Agrotropica 22(1):5 – 10 p.
- Orozco-Aguilar, L. 2016. Balance de agua y requerimientos de riego en cacao (en línea). (February). Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/306079740>.
- Ortiz Angela Somarriba Eduardo, RL. 2008. Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*). Agroforestería de las Américas :26-29.
- Plúa, DMÁ. 2014. Estudio de la fertilización del cultivo de cacao (*theobroma cacao* l.) nacional en suelos volcánicos de quevedo. s.l., s.e.
- Puentes-Páramo, YJ; Menjivar-Flores, JC; Aranzazu-Hernández, F. 2016. Concentración de nutrientes en hojas, una herramienta para el diagnóstico nutricional en cacao. Agronomía Mesoamericana 27(2):329. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v27i2.19728>.
- Puentes-Páramo, YJ; Menjivar-Flores, JC; Gómez-Carabalí, A; Aranzazu-Hernández, F. 2014. Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento = Absorption and distribution of nutrients in cocoa and its effect on yield (en línea). Acta Agronómica 63(2):145-152. Disponible en http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/40041/45755.
- R. Ramírez-Pisco, aer-meilr. 2017. Construcción del modelo mnc (mupv) v1 para la nutrición del cacao. (november):13-17 p.

- Rodríguez, O., & V. Rodríguez. 2000. Desarrollo, determinación e interpretación de normas DRIS para el diagnóstico nutricional en plantas. Una revisión. Rev. Fac. Agron (LUZ) 17:449-470 p
- Rolando Cerda. 2019. Herramienta para calcular la fertilidad del suelo.
- Rolando Cerda; Frederick Gay. 2019. Fertilización y Gestión integrada de nutrientes en cacaotales: Importancia, requerimiento, deficiencias, balances de nutrientes, cálculos, formas de aplicación.
- Rolando Hermes Cerda Bustillos; Soto, G. 2008. Calidad de suelos en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*) en el valle de Talamanca, Costa Rica. Maestría e:66.
- Ruales, J; Burbano, H; Ballesteros, W. 2011. Effect of the Fertilization with Diverse Sources on the Yield of. Revista de Ciencias Agrícolas 28(2):81-95 p.
- Salgado, J. 2012. Producción de madera en sistemas agroforestales con café. s.l., s.e. 145-160 p.
- Sanchez, P. A. 1976. Properties and Management of Soils in the Tropics. Wiley, New York.
- Sileshi, G; Mafongoya, PL. 2007. Quantity and quality of organic inputs from coppicing leguminous trees influence abundance of soil macrofauna in maize crops in eastern Zambia. Biology and Fertility of Soils 43(3):333-340. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-006-0111-8>
- Schroth, G and; Sinclair, FL. 2003. Trees, Crops and Soil fertility concepts and research methods. s.l., s.e. 2-6 p.
- Schroth, G; Elias, MEA; Uguen, K; Seixas, R; Zech, W. 2001. ★122 Nutrient fluxes in rainfall, throughfall and stemflow in tree-based land use systems and spontaneous tree vegetation.pdf. 87:37-49.
- Schroth, G; Lehman; J; Rodriguez, M; Barros, E; Macedo, J. 2001. Plant-soil interactions in multiestrata agroforestry in the humid tropics. Agroforestry Systems 53:85-102 p.
- Soto, G; Meléndez, G. 2004. Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) No. 72 p. 91-97.
- Suarez García, g. 2011. Extracción de nutrientes por cosecha del cultivo de naranja (*citrus sinensis*) variedad valencia en condiciones del valle del cauca. :57.
- Uribe, A; Méndez, H; Mantilla, J. 1998. Efecto De Niveles De Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Informaciones Agronómicas (41):4-7 p.
- Villegas, R. 2008. Descomposición de las hojas del cacao y de seis especies arbóreas, solas y en mezcla en Alto Beni, Bolivia. :96 p.

11. ANEXOS

Anexo 1. Formulario de campo para la caracterización de fincas

Nombre del propietario:

¿Forma parte de alguna asociación de productores? ¿SI NO Cual?

Comunidad:

Coordenadas: _____

Altura: _____msnm Área total de la finca: _____ ha

Cuántas parcelas tiene de cacao: _____

Topografía:

Área: _____ha Variedad: _____ Distancia de siembra: _____ Edad: _____ años

Cultivos presentes en la parcela: _____

Anexo 2. Árboles de sombra y cultivos en la parcela de cacao

Nombre común	Nombre científico	Función	Edad	Distancia de siembra

Manejo:

Cuales prácticas agrícolas realiza en el cacaotal(poda, fertiliza, deshierba, control manual de enfermedades): _____

¿Edad del cultivo? _____

Origen genético del material vegetal: cómo lo nombra el agricultor y dónde lo consiguió:

Siente que las condiciones climáticas han variado en los últimos años: _____

Modo de propagación: siembra directa de semillas, plántulas de vivero, plántulas injertadas:

¿Aplicaba enmiendas químicas? ¿SI NO Cuáles? _____

Aplica abonos orgánicos: _____

Considera importante la fertilización de cacao: SI NO:

Tipo: _____

cantidad: _____

¿Conoce la cantidad de nutrimento aportado por estos abonos?: _____

Frecuencia: _____

Forma de aplicarla: _____

Cuáles son los principales problemas para la producción del cultivo

1. _____

2. _____

Rendimientos

Cuánto fue el rendimiento más bajo: _____

Cuánto fue el rendimiento más alto: _____

Cuánto es el rendimiento más frecuente en los últimos dos años: _____

A observados cambios en el rendimiento con la aplicación de abonos orgánicos: _____

Información sobre el conocimiento de sus suelos

Topografía: _____

Qué tipo de suelos existen en su finca, como lo describiría:

¿Considera que su suelo es bueno? ¿SI NO Por qué?

¿Cuáles cree que son las principales limitantes de su suelo?

¿Hace labores de conservación o mejoramiento de suelos? ¿SI NO Cuáles?

¿Ha hecho análisis de sus suelos? ¿SI NO cuándo?
