

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**VARIABILIDAD DE LOS ATRIBUTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL SUELO EN  
SISTEMAS DE MANEJO Y EL IMPACTO DEL ESTRÉS ABIÓTICO EN LA  
MORFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA DE *Theobroma cacao* L. (cacao) EN EL PERÚ**

**Trabajo de suficiencia profesional**

**Para optar el título profesional de:**

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
MENCIÓN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

**PRESENTADO POR:  
ABEL FARFÁN PINEDO**

**Tingo María – Perú.**

**2021**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María – Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**ACTA DE SUSTENTACIÓN POR TRABAJO DE SUFICIENCIA  
PROFESIONAL**

**N° 002-2021-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Informe de trabajo de suficiencia profesional, reunidos con fecha 21 de Febrero de 2020, a horas 11:00 a.m. en la Sala sesiones de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua para calificar el trabajo de suficiencia profesional titulada:

**“VARIABILIDAD DE LOS ATRIBUTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL SUELO EN SISTEMAS DE MANEJO Y EL IMPACTO DEL ESTRÉS ABIÓTICO EN LA MORFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA DE *Theobroma cacao* L. (cacao) EN EL PERÚ”**

Presentado por el Bachiller: **FARFAN PINEDO, Abel**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADA** con el calificativo de **“MUY BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES MENCIÓN: CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 10 de Mayo de 2021

Ing. M. Sc. **JOSE LEVANO CRISOSTOMO**  
**Presidente**

Ing. M. Sc **RICARDO OCHOA CUYA**  
**Miembro**

**Dr. EDILBERTO CHUQUILIN BUSTAMANTE**  
**Miembro**

**Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ**  
**Presidente**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**VARIABILIDAD DE LOS ATRIBUTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL SUELO EN  
SISTEMAS DE MANEJO Y EL IMPACTO DEL ESTRÉS ABIÓTICO EN LA  
MORFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA DE *Theobroma cacao* L. (cacao) EN EL PERÚ**

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| <b>Autor</b>                     | : Abel Farfán Pinedo                       |
| <b>Asesor</b>                    | : Dr. Lucio Manrique de Lara Suarez        |
| <b>Programa de investigación</b> | : Gestión de cuencas hidrográficas         |
| <b>Línea de investigación</b>    | : Gestión y conservación del recurso suelo |
| <b>Eje temático</b>              | : Evaluación del suelo para distintos usos |
| <b>Lugar de ejecución</b>        | : Instituto de Cultivos Tropicales         |
| <b>Duración</b>                  | : 02 enero 2014 al 31 diciembre 2019       |
| <b>Financiamiento</b>            | : S/. 46 600                               |

**Tingo María – Perú. 2021**

## **DEDICATORIA**

**A DIOS**, por el don de la Vida, Luz y Salud,  
por cuidarme siempre en esta extraordinaria  
aventura que es la Vida.

**A mis Padres**, que sin ellos no lo hubiera logrado, desde la cuna, mis primeros pasos, mis aciertos y mis tropiezos en el camino de formación y profesión. **Mamá** te amo, Gracias por estar a mi lado, por tus preocupaciones, tu apoyo moral, por tomar el mando en mi formación y poder seguir adelante con mis propósitos. **Papá** te extraño, Gracias por el tiempo que estuviste conmigo, partiste temprano cuando yo empezaba la universidad, pero dejaste sembrado en mi tu ejemplo y valores para ser un profesional de bien.

**A mis hermanos** Azucena, Víctor Johnny  
y Fernando, por sus preocupaciones, ánimo  
y apoyo moral en seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Lucio Manrique de Lara Suarez, Asesor del presente informe de experiencia profesional, por su tiempo, confianza y profesionalismo en la ejecución plena del presente informe.

Al Dr. Virupax C. Baligar, Amigo y principal soporte y guía científico en mis trabajos realizados durante diez años en la ciencia del suelo y cultivos tropicales, agradecido siempre por su confianza y palabras de motivación.

Al Ing. Ángel Luis Tuesta Pinedo, Amigo y compañero de trabajo por su experiencia plena en el cultivo de cacao, por sus buenas ideas y su buen sentido del humor.

Al personal obrero, señores Antonio, Néstor, Pablo, Manrique, Willer, por sus labores realizadas en campo en las estaciones experimentales.

A mi Alma Mater Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) por acogerme y formarme con valores, ética y gran profesionalismo que reflejo en la actualidad.

Al Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) mi centro laboral durante 10 años y brindarme las facilidades en la ejecución y culminación del informe de experiencia profesional.

Al Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (ARS/USDA) por el soporte técnico financiero constante en el desenvolvimiento durante los años de experiencia profesional.

A la generosa y respetada planta de cacao, un reconocimiento especial y ancestral que va junto a las manos que las cultivan, a esas manos que aún siguen siendo en parte el lado amargo del chocolate. Mis buenos deseos para el bienestar familiar, social, económico y una mejora calidad de vida de las mujeres y varones del campo.

## INDICE

|   | Página |
|---|--------|
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....  | 1      |
| 1.1. Objetivos.....   | 2      |
| <b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....                               | 3      |
| 2.1. Estado de la región amazónica peruana.....                       | 3      |
| 2.2. Agricultura migratoria.....                                      | 3      |
| 2.3. Sistemas Agroforestales (SAF- INAS).....                         | 4      |
| 2.4. El cacao: Generalidades.....                                     | 4      |
| 2.5. Características físicas y químicas del suelo.....                | 6      |
| 2.6. Las plantas y el estrés.....                                     | 7      |
| 2.6.1. Estrés a nivel de fisiología vegetal.....                      | 7      |
| 2.6.2. Tipos de estrés.....   | 7      |
| 2.6.3. Importancia del estudio del estrés en plantas.....             | 8      |
| 2.7. Suelos ácidos.....   | 8      |
| 2.7.1. Causas de la acidificación.....                                | 8      |
| 2.8. El recurso suelo en la selva Peruana.....                        | 9      |
| 2.8.1. Marco Conceptual y Jurídico.....                               | 9      |
| 2.9. Importancia y uso actual de los suelos amazónicos.....           | 10     |
| 2.10. El aluminio en el suelo.....                                    | 11     |
| 2.10.1. Aluminio y nutrición mineral.....                             | 12     |
| 2.10.2. Síntomas y efectos de estrés por aluminio en las plantas..... | 12     |
| <b>III. MATERIALES Y METODOS</b> .....                                | 13     |
| 3.1. Lugar de ejecución.....  | 13     |
| 3.2. Metodología.....   | 13     |
| 3.2.1. Sistema natural agroforestal mejorado (INAS).....              | 13     |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.2.2. Sistema tradicional agroforestal mejorado (ITAS)..... | 14        |
| 3.2.3. Genotipos y tratamientos de cacao.....                | 16        |
| 3.2.4. Mapa general de los sistemas evaluados.....           | 17        |
| 3.2.5. Recolección de muestras de suelos.....                | 18        |
| 3.2.6. Ensayo de encalamiento.....                           | 18        |
| 3.2.7. Encalado de suelos en macetas.....                    | 19        |
| 3.2.8. Metodología de selección de genotipos.....            | 20        |
| 3.2.9. Índice de tolerancia a suelos ácidos.....             | 21        |
| <b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>                       | <b>22</b> |
| 4.1. Propiedades físicas.....                                | 22        |
| 4.2. Propiedades químicas.....                               | 27        |
| 4.3. Comportamiento de variables biométricas de cacao.....   | 30        |
| 4.4. Datos climatológicos de la E.E El Choclino.....         | 32        |
| 4.5. Producción de clones de cacao en estudio.....           | 35        |
| <b>V. CONCLUSIONES.....</b>                                  | <b>36</b> |
| <b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>                              | <b>37</b> |
| <b>VII. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....</b>                     | <b>38</b> |
| <b>VIII. ANEXOS.....</b>                                     | <b>48</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1.</b> Características de suelos de la Amazonía peruana.....                         | 10 |
| <b>Tabla 2.</b> Genotipos y tratamientos considerados en estudio.....                         | 16 |
| <b>Tabla 3.</b> Medición del pH antes y después de enclamiento del sustrato.....              | 19 |
| <b>Tabla 4.</b> Rangos de clasificación del índice de tolerancia a suelos ácidos.....         | 21 |
| <b>Tabla 5.</b> Características físicas de suelos en los modelos de manejo de cacao.....      | 22 |
| <b>Tabla 6.</b> Características físicas de suelos por año en los modelos de manejo.....       | 24 |
| <b>Tabla 7.</b> Medias de las propiedades físicas del suelo con 10 clones de cacao.....       | 26 |
| <b>Tabla 8.</b> Propiedades químicas de suelos en los sistemas INAS e ITAS.....               | 27 |
| <b>Tabla 9.</b> Medias de las propiedades químicas del suelo.....                             | 28 |
| <b>Tabla 10.</b> Medias de las características químicas del suelo con 10 clones de cacao..... | 29 |
| <b>Tabla 11.</b> Valores medios de genotipos de cacao en tolerancia a suelos ácidos.....      | 31 |

## INDICE DE FIGURAS

Figura

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Zonificación de regiones productoras de cacao en el Perú.....  | 6  |
| <b>Figura 2.</b> Clasificación del recurso suelo en la selva peruana.....   | 9  |
| <b>Figura 3.</b> Capacidad de uso mayor de suelos en la selva peruana.....  | 11 |
| <b>Figura 4.</b> Sistema de producción de cacao bajo sombra, sistema INAS.....  | 14 |
| <b>Figura 5.</b> Sistema de producción de cacao con manejo tradicional ITAS.....  | 15 |
| <b>Figura 6.</b> Croquis del área experimental el Choclino.....   | 17 |
| <b>Figura 7.</b> Croquis de clones instalados en los modelos de producción.....   | 17 |
| <b>Figura 8.</b> Estandarización de pH de suelos con dolomita.....  | 18 |
| <b>Figura 9.</b> Requerimiento de dolomita para estandarizar pH de suelos ácidos.....   | 20 |
| <b>Figura 10.</b> Ensayo de estandarización de pH de suelos.....  | 20 |
| <b>Figura 11.</b> Porcentajes de arena, arcilla y limo (%) en los modelos INAS e ITAS.....  | 22 |
| <b>Figura 12.</b> Datos de densidad aparente y espacio poroso del suelo.....  | 23 |
| <b>Figura 13.</b> Valores de saturación, capacidad de campo, punto de marchitez y agua disponible en los modelos de producción..... | 23 |
| <b>Figura 14.</b> Porcentajes de arena, arcilla y limo (%) en los años 2012 al 2016.....  | 24 |
| <b>Figura 15.</b> Valores densidad aparente y espacio poroso en los modelos INAS e ITAS....   | 25 |
| <b>Figura 16.</b> Valores de saturación, capacidad de campo, punto de marchitez y agua disponible en los modelos de producción..... | 25 |
| <b>Figura 17.</b> Valores de altura planta, diámetro tallo y longitud radicular.....  | 30 |
| <b>Figura 18.</b> Valores de biomasa seca, área foliar y radicular de clones de cacao .....   | 30 |
| <b>Figura 19.</b> Valores de conductancia estomática y clorofila en clones de cacao .....   | 31 |
| <b>Figura 20.</b> Índice de tolerancia de clones de cacao a acidez de suelos .....  | 32 |
| <b>Figura 21.</b> Precipitación mensual – anual E.E El Choclino- ICT .....  | 33 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 22.</b> Precipitación acumulada anual E,E El Choclino– ICT .....                  | 33 |
| <b>Figura 23.</b> Temperatura promedio mensual – anual E.E El Choclino .....                | 34 |
| <b>Figura 24.</b> Temperatura promedio anual E.E El Choclino- ICT .....                     | 34 |
| <b>Figura 25.</b> Productividad de los clones de cacao .....                                | 35 |
| <b>Figura 26.</b> Características químicas del suelo en los modelos INAS e ITAS.....        | 61 |
| <b>Figura 27.</b> Características químicas del suelo en años modelo de producción INAS..... | 63 |
| <b>Figura 28.</b> Características químicas del suelo por bloques en los modelos INAS .....  | 65 |
| <b>Figura 29.</b> Características químicas del suelo por años en el modelo ITAS .....       | 67 |
| <b>Figura 30.</b> Características químicas del suelo por bloques en el modelo ITAS .....    | 69 |

## RESUMEN

Este informe de experiencia laboral, tiene la finalidad de dar a conocer las actividades más relevantes en trabajos de investigación en el Instituto de Cultivos Tropicales (ICT), relacionados a sistemas de manejo del cacao, conservación de suelos y búsqueda de germoplasma resistente a estrés abiótico. Se instalaron dos modelos de manejo de cacao; el primero, nativo agro forestal mejorado y el segundo modelo, tradicional mejorado, en ambos modelos se sembró diez clones de cacao y un híbrido por semilla (testigo). Se colectaron muestras de suelo para análisis físico y químico en cada sistema, por clones y a profundidad de 20 centímetros, durante los años 2012, 2014 y 2016. Se estimaron las variaciones físico-químicas en cada modelo de manejo, clon, profundidad y año. Las variables físicas, como la densidad de partículas aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) y espacio poroso (%) son variables cuyos valores difieren en mayor parte de las estimaciones, así mismo la acidez, porcentaje de materia orgánica, contenido de macro y micro elementos son variables químicas cuyos valores se mostraron estadísticamente diferentes en los sistemas. En el ensayo de estrés abiótico, se seleccionaron 60 genotipos de cacao para ser sometidos a estrés de suelos ácidos con pH 4.5; de esta manera se analizaron sus respuestas morfo fisiológicas e índice de tolerancia a suelos ácidos, el 60 % de genotipos de cacao en estudio mostraron ser tolerantes, estos resultados son alentadores para ser explotados en el desarrollo genético del cacao y mejorar cultivares tolerantes a acidez de suelos.

Palabras claves: Genotipos, agroforestal, nutrientes, pH, tolerancia.

**VARIABILITY OF PHYSICAL AND CHEMICAL ATTRIBUTES IN SOIL  
MANAGEMENT SYSTEMS AND THE IMPACT OF ABIOTIC STRESS ON THE  
MORPHOLOGY AND PHYSIOLOGY OF *Theobroma cacao* L. (cacao) IN PERU**

**ABSTRACT**

This work experience report has the purpose of publicizing the most relevant activities in research works at the Instituto de cultivos tropicales (ICT) associated to cacao management systems, soils conservation and search for germplasm resistant to abiotic stress. Two models of cacao management were installed; the first improved native agro forestry and the second, traditional improved model, in both models he planted ten cacao clones and one hybrid per seed (control). Soils samples were collected for physical and chemical analysis in each system, by clones and depth of 20 centimeters, on the years 2012, 2014 and 2016. The physical-chemical variations were estimated in each management model, clone, depth and year. Physical variables, such as apparent particle density (g/cm<sup>3</sup>) and pore space (%) are variables whose values differ in most of the estimates, likewise the acidity, organic matter percentage, content of macro and micro elements are chemical variables whose values are statistically different in the systems. In the abiotic stress experiment, 60 cacao genotypes were selected to stress of acid soils with pH 4.5; morphological and physiological responses and tolerance index to acid soils were analyzed, 60% of cacao genotypes in study shown to be tolerant, these results are positive to be exploited in the genetic development of cacao and improve cultivars tolerant to acid soils.

Keywords: Genotypes, agroforestry, nutrients, pH, tolerance

## I. INTRODUCCIÓN

En los primeros pasos de nuestra civilización, la humanidad se ha esmerado por encontrar la armonía con la naturaleza, el hombre se adecuó a esta naturaleza y la alteró para garantizar su subsistencia, los efectos de esta alteración son ya vivenciados en esta y futuras generaciones.

Las pérdidas de biodiversidad, deterioro de los recursos naturales, baja productividad de los suelos son causadas por la deforestación en la cuenca del Amazonas (Flores, 1998). La agricultura migratoria disminuye las propiedades físico-químicas del suelo y, en términos ambientales, es la causa principal de la deforestación, ocasionando pérdida de la biodiversidad, erosión de suelos, cambio de régimen hídrico y, a través de las quemas, emiten altas concentraciones de dióxido de carbono, entre otros.

Actualmente, se incentiva producir cacao para impulsar la diversificación productiva de los agricultores en la amazonia peruana, como alternativa económica, social y ambientalmente sostenible, sin embargo, bajo diferentes sistemas de manejo como, sistemas agroforestales, bosques mejorados, y sistemas tradicionales, se conoce muy poco sobre la interacción de los componentes físicos y químicos del recurso suelo con los tipos de manejo en mención, para reflejarse en una mejor producción del cultivo de cacao, mejores ingresos y calidad de vida de los agricultores.

El presente informe muestra los resultados de la variabilidad en las propiedades físico-químicas del suelo, durante seis años (2012 hasta el 2016) en un sistema nativo agroforestal mejorado (INAS) y sistema tradicional agroforestal mejorado (ITAS) con clones de cacao de colección nacional e internacional.

Así mismo la selección de genotipos de cacao tolerantes a estrés abiótico (suelos ácidos), comprende conocer las respuestas morfológicas, fisiológicas y el índice de tolerancia a suelos ácidos, de esta manera podríamos incluir genotipos de cacao en paquetes tecnológicos para crear y mejorar clones resistentes a acidez del suelo, esto requiere la colaboración en campo para estudiar, insertar las opciones de adaptación y socializar los resultados a los responsables de políticas para facilitar el efecto multiplicador de los casos exitosos.

### **1.1. Objetivos**

- Identificar la variabilidad en las componentes físicos y químicos del suelo sometidos a dos tipos manejo de cacao y determinar los efectos del estrés abiótico (acidez de suelo) sobre la morfología, fisiología en genotipos de cacao bajo condiciones de vivero.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Determinar la fertilidad del suelo durante 6 años en dos sistemas de manejo del cultivo de cacao.
- Identificar las interacciones de producción de cacao que causen el mínimo impacto negativo a un bosque secundario.
- Seleccionar genotipos y/o accesiones de cacao tolerantes a acidez del suelo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Estado de la región amazónica peruana

Gran parte de la extensión de área peruana está albergada por selva amazónica; 782.880,55 km<sup>2</sup> de territorio peruano es amazónico, esto representa un 13,05% del total de área continental, segundo lugar después del Brasil. La gran cuenca del río Amazonas, posee un territorio mucho mayor de 967.922,47 km<sup>2</sup>. (Villacorta *et al.*, 2007).

La superficie amazónica del Perú viene experimentando cambios desde mediados de la era industrial. Acumulando un déficit de 918,59 km<sup>2</sup> de bosque. Se tiene referencia que las altas pérdidas de bosque están colindantes al sistema terrestre y acuático. La agricultura de tumba rosa, quema y la ganadería son las principales causas de pérdida (Rojas *et al.*, 2019).

El cultivo de cacao en los últimos años viene representando una gran oportunidad para el desarrollo sostenible del país, La amazonia peruana posee la gracia y privilegio de ser el origen de las variedades de cacao más finos del mundo. Actualmente, se promueve la producción de cacao para impulsar la diversificación productiva de los agricultores en la amazonia peruana, como alternativa económica, social y ambientalmente sostenible.

### 2.2. Agricultura migratoria

La agricultura en base a la deforestación de bosques conocida como migratoria, realizada en su mayor parte por campesinos que colonizan áreas de bosque en la influencia de la amazonia de américa (principalmente Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia y Brasil), debe ser considerada un tema de preocupación, interés, debates científicos, puesta de carácter de urgencia en las agendas políticas (Banco mundial, 2000).

En latitudes cercana a la línea ecuatorial tropical, actividades de tala, rosa y quema caracterizan a la agricultura migratoria y tradicional, de esta manera reemplazan superficies de bosque por cultivos, es una de las razones en que el campesino reemplaza superficies de bosques por una plantación agrícola que posee menor biodiversidad por área intervenida. (Gamarra, 2019).

Los cambios que sufren los bosques a otros tipos del suelo son cada vez más alarmante y ponen en peligro a la biodiversidad y emiten gases de efecto invernadero. En la actualidad existen nuevas y prometedoras tecnologías y con buenas políticas podrían aumentar y mejorar la productividad de los bosques y reducir la tala de la foresta, lamentablemente los organismos e instituciones vinculadas no tienen el compromiso requerido. (White *et al.*, 2005).

En suelos donde se cultivan coca y el uso desmedido de químicos da resultado a la existencia de purmas o bosque secundario, en estas plantaciones el manejo del cacao es empírico junto a toros sembríos anuales (Bedoya *et al.*, 2017).

### **2.3. Sistemas Agroforestales (SAF- INAS)**

Se describe agroforestería, como metodología de uso de suelos para dar origen a bosques seccionados en forma simultánea una diversidad de manejo de corto tiempo y permanente de cultivos y frutales (Ricse, 2003).

Los sistemas agroforestales son parte principal e integral en el manejo de preservar y mejorar el recurso suelo. Cuyo foco es reforzar las parcelas de los productores en forma sostenible ofertando una diversidad en producción, manejo de suelo, obtener un microclima en particular, entre otras. (Farfán, 2014).

Los sistemas productivos de manejo agroforestal incluyen prototipos de producción con una diversidad sostenible y eficiente, estos son pilares básicos en el desarrollo sostenible. (Centro Internacional de Investigación de las Ciencias Agropecuarias del Japón - JIRCAS. Manual de Sistemas Agroforestales para el Desarrollo Rural Sostenible. Febrero, 2010. San Lorenzo, Paraguay).

Los bosques manejados con sistemas agroforestales, poseen una ayuda en la agricultura, ya que controlan la erosión de los suelos, dan una oferta interesante de madera, medicina ancestral, leña, etc. Esto beneficia al no desplazamiento de los productores a causa de la agricultura migratoria a otros lugares de bosque primario. (Kalliola y Flores, 1998).

Entre los fundamentales servicios que ofrecen la agroforestería son: a) adecuada fertilidad del suelo/minimiza la erosión por la inclusión de compuestos orgánicos. b) mejora la cantidad y calidad del agua; c) fijación de biomasa y carbono aéreo vegetal y d) preservación de la diversidad biológica de áreas degradadas. (Beer *et al.*, 2003).

### **2.4. El cacao: Generalidades**

En las arterias de las cuencas fluviales de la región amazónica de América del sur, el cacao un árbol de los bosques tropicales considerado como centro de origen se encuentra la mayor diversidad de poblaciones de cacao, pertenece al género *Theobroma*, traducido del griego como “Alimento de los Dioses”. Existen varias especies dentro de este género, pero solo la especie *Theobroma cacao* L., tiene importancia económica en los países productores y en toda la cadena del chocolate y derivados a nivel mundial.

El cacao (*Theobroma cacao* L.), denominado uno de los cultivos permanentes más trascendentes del planeta, se explora casi exclusivamente para la fabricación de chocolate. La mayoría de las variedades de cacao pertenecen a tres grupos: Criollo, Forastero y Trinitario que varían según la morfología, los orígenes genéticos y geográficos. El cacao se cultiva a la sombra de los árboles del bosque o como monocultivo sin sombra. (Furtado y Valle, 2009).

Los árboles de cacao son nativos de las regiones selváticas de América tropical, donde incluso hoy se encuentran extensamente en estado salvaje (Souza *et al.*, 2018; Niether *et al.*, 2019). En países como Perú, La producción de cacao es la principal fuente de ingresos de millones de agricultores. (Arévalo *et al.*, 2015; Zug *et al.*, 2019). Representa el segundo más económicamente (después del café) para reemplazar los cultivos ilícitos en la Amazonia (Alianza Cacao Perú, 2019). En 2017, las exportaciones de cacao alcanzaron más de 250 millones de dólares, colocando a nuestro país en el puesto ocho de productores de cacao en el mundo (MINAGRI, 2018).

El cacao en sinergia con especies forestales a lo que se denomina sistemas agroforestales poseen diferentes productos y servicios ambientales y de conservación. (Mata *et al.*, 2017).

En la siembra de cacao en campo definitivo, se recomienda aprovechar al máximo el área de siembra con cultivos anuales o temporales como banano, frijoles, maíz, yuca; de esta manera es un medio de solvento de la misma parcela y agricultor mientras el cacao está en crecimiento y empiece a producir al tercer año, así reducimos costos de instalación del cacao. (Navarro *et al.*, 2006).

El cacao y el café juntos representan el mayor volumen de comercio internacional legal de productos básicos, además del petróleo. La región de África Occidental es la principal zona productora de cacao del mundo, con países líderes como Côte d'Ivoire, Ghana, Camerún y Nigeria. Desafortunadamente, estos países también están experimentando importantes procesos de deforestación a través de la conversión progresiva de bosques en monocultivos de cacao y otros sistemas agrícolas. La conversión de los bosques tropicales y la intensificación agrícola son los impulsores más importantes de la pérdida de biodiversidad tropical y los servicios ecosistémicos asociados. Muchos estudios han demostrado que las plantaciones de cacao de varios estratos contienen mayores reservas de carbono y otros servicios de los ecosistemas que otros usos agrícolas de la tierra. Por lo tanto, estos sistemas podrían ofrecer mejores oportunidades para mitigar el cambio climático y beneficiarse de incentivos para emitir menos y capturar más gases de efecto invernadero, como los Mecanismos de Implementación Conjunta y Desarrollo Limpio. (Ariza *et al.*, 2020).



| <b>Cacao en Perú</b>                          | <b>1993</b> | <b>2004</b> | <b>2007</b> | <b>2012</b> | <b>2013</b> | <b>2014</b> | <b>2015</b> |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Área total (ha)                               | 28 238      | 50 879      | 59 835      | 91 497      | 97 613      | 106 635     | 120 388     |
| Rendimiento (kg/ha)                           | 530         | 509         | 529         | 683         | 736         | 765,7       | 800         |
| Total producción (TM)                         | 14 970      | 25 921      | 31 387      | 62 492      | 71 838      | 81 651      | 92 592      |
| <b>Norte</b>                                  |             |             |             |             |             |             |             |
| Tumbes, Piura,<br>Amazonas, Cajamarca,        | 2 466       | 5 413       | 8 087       | 9 739       | 10 270      | 10 791      | 11 116      |
| <b>Porcentaje (%)</b>                         | 8,7         | 10,6        | 13,5        | 10,6        | 10,5        | 10,12       | 9,23        |
| <b>Centro</b>                                 |             |             |             |             |             |             |             |
| San Martín, Huánuco,<br>Junín, Pasco, Ucayali | 11 222      | 18 137      | 22 581      | 47 330      | 56 361      | 66 239      | 80 916      |
| <b>Porcentaje (%)</b>                         | 39,7        | 35,6        | 37,7        | 51,7        | 57,7        | 62,12       | 67,21       |
| <b>Sur</b>                                    |             |             |             |             |             |             |             |
| Ayacucho, Cuzco,<br>Madre de Dios, Puno       | 14 450      | 29 991      | 29 132      | 34 429      | 30 982      | 29 606      | 28 356      |
| <b>Porcentaje (%)</b>                         | 51,5        | 58,9        | 48,7        | 37,6        | 31,7        | 27,76       | 23,55       |

Fuente: Ministerio de agricultura y riego.

**Figura 1.** Zonificación de regiones productoras de cacao en el Perú, 2015 (Elaboración propia).

## 2.5. Características físicas y químicas del recurso suelo

Desde el inicio, la agricultura tiene como pilar actividad la explotación del suelo. En varias áreas se ha perdido la fertilidad del recurso suelo por el mal uso que se le ha dado, viendo amenazada su fertilidad y biodiversidad por la contaminación y sobre explotación. (Pereira *et al.*, 2011).

Las propiedades físico-químicas del suelo condicionan la capacidad productiva de las plantas. Estas características consisten en componentes físicos y químicos; clase textural, profundidad de la capa arable, profundidad efectiva del desarrollo de raíces, espacio poroso, densidad aparente, infiltración, son todos componentes físicos significativos en la calidad del suelo. Las propiedades químicas son el contenido de carbono orgánico total, acidez, potencial de hidrogeno (pH), conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico (CIC), Macro nutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio extraíble, azufre y macro nutrientes magnesio, boro, molibdeno, manganeso, límites de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico), entre otros (He *et al.*, 2003).

El suelo es un medio en el que crecen las plantas. Está formado por cuatro componentes distintos: materia orgánica, minerales, agua y aire, todos los cuales son importantes para mantener la calidad del suelo. El suelo realiza una amplia gama de funciones entre las que se encuentran servir como hogar para una serie de organismos, filtrar contaminantes y reciclar desechos orgánicos y nutrientes (White *et al.*, 2013; Binkley y Fisher, 2013). Los suelos varían de un lugar a otro; una característica que depende en gran medida del padre material (Esu, 1999; Mage

y Porder, 2013). La composición y las características del suelo también determinan la adaptabilidad de las especies y a largo plazo. (USDA NRCS, 2001).

La composición del suelo tiene una importante función en la asimilación y disponibilidad de los nutrientes, micro nutrientes como el zinc, cobre, hierro, manganeso, boro, molibdeno son elementos químicos de vital importancia en el crecimiento de las plantas, pese a su pequeña cantidad de requerimiento. (Roca et al., 2007).

El índice del suelo, en función a su calidad en sistemas de cultivo de cacao se desarrolló para cumplir con los criterios nutricionales del cultivo, la seguridad ambiental de los sitios de cultivo y la creciente demanda de producción y calidad del cacao. La función de agua disponible, la función de crecimiento de raíces, la función de nutrición mineral de las plantas. (Quintino *et al.*, 2018).

## **2.6. Las plantas y el estrés**

### **2.6.1. Estrés a nivel de fisiología vegetal**

El estrés viene de la ciencia física, como fuerza que ejerce en un cuerpo, la respuesta de este cuerpo es la reacción igual a la fuerza que se ha ejercido sobre este. En la ciencia biológica el estrés es un agente externo que afecta negativamente a un individuo. En otras palabras desde la definición biofísica de estrés incluye una fuerza aplicada sobre un individuo en proporción con el área sobre la cual se ejerce. En términos de fisiología vegetal describe como la capacidad de presión ambiental que impulsa a un cambio en la fisiología de una planta (Nilsen y Orcutt, 1996). Levitt (1980) conceptualizó el estrés: de la siguiente manera: cualquier componente ambiental con potencial de perjudicar a los organismos vivos.

El concepto de estrés que se usa en fisiología vegetal tiene diversos conceptos; teniendo en referencia el concepto de estrés como cualquier agente ambiental abiótico o bióticos que disminuye algún proceso fisiológico (por ejemplo, metabolismo, transpiración, fotosíntesis) valores inferiores a la máxima tasa que alcanzaría (Lambers y Cols 1998).

### **2.6.2. Tipos de estrés**

Clasificaciones de los agentes que causan estrés existen muchas, en general, se clasifican como estrés abiótico y estrés biótico. (Azcón-Bieto y Talón, 2008). El estrés biótico es causado por la acción de otros agentes vivos: otras plantas, animales, macro y microorganismos, agentes patógenos como hongos, virus, etc. El estrés abiótico es causado por agentes físicos y químicos, es decir fisico-químicos como, irradiación UV, temperatura, vientos, el déficit hídrico o exceso hídrico, salinidad, suelos ácidos, metales pesados, etc.

### 2.6.3. Importancia del estudio del estrés en plantas

Existen varias causas para darle atención y profundizar la fisiología de las plantas en situaciones de estrés, entre las más importantes, según Tambussi (2004) son: *(a)* la comprensión de los causantes de estrés puede ser determinante para tomar decisiones de forma predictiva *(b)* partiendo del punto de vista ecofisiológica, el estudio de la relación de las plantas con los factores ambientales es importante para entender la distribución de las especies en los diferentes ecosistemas; y *(c)* la capacidad potencial de producción de los cultivos está directamente ligado por el impacto de estreses ambientales limitando el rendimiento (Nilsen y Orcutt, 1996).

## 2.7. Suelos ácidos

Los valores inferiores a 5 en pH, los suelos ácidos y toxicidad de aluminio son los agentes más restrictivos, limitantes y perjudiciales en el desarrollo, crecimiento y productividad en los suelos del trópico, aproximadamente alcanzan el 40% de la superficie agrícola, (Von Uexküll y Mutert, 1995), en áreas más húmedas se encuentran suelos más ácidos, donde se encuentran altas temperaturas y altas precipitaciones, por citar por ejemplo las zonas tropicales (Suárez, 1992). Aproximadamente de 60% de la superficie de Perú está conformado por suelos ácidos.

Los suelos denominados ácidos es limitante del desarrollo y crecimiento de las plantas, a causa de agentes que incluyen la toxicidad de  $Al^{+3}$ , manganeso ( $Mn^{+2}$ ) e  $H^{+1}$  (Marschner, 1991), y la deficiencia de nutrientes esenciales, especialmente Ca, Mg, fósforo (P) y molibdeno (Mo), el agente más significativo que afecta el crecimiento en los suelos ácidos es el Aluminio soluble.

### 2.7.1. Causas de la acidificación

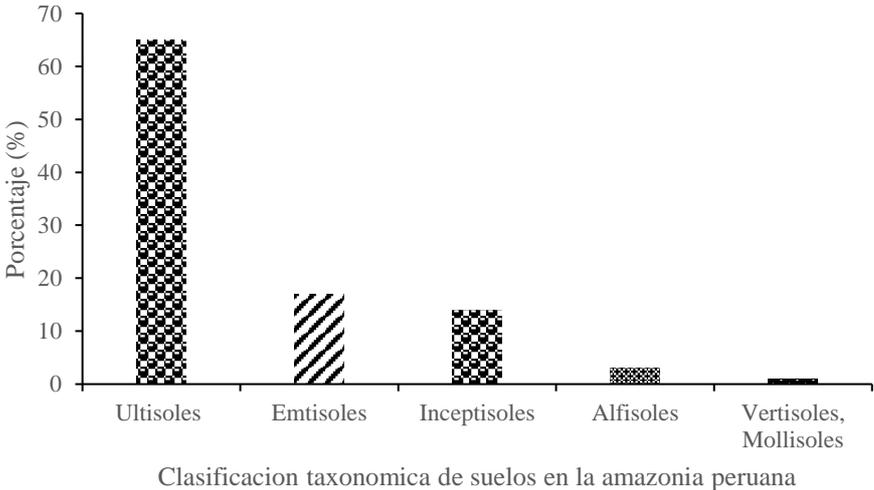
Cita Sadzawka y Campillo (1993), que hay muchos agentes que condicionan las causas de acidez en los suelos.

- La labranza del suelo, actividad frecuente de agricultura intensiva, este proceso precipita el proceso de acidez del suelo.
- Intensas precipitaciones pluviales, que causa escorrentía por las pendientes topográficas provocando una lixiviación del perfil de suelo.
- La degradación de la materia orgánica, liberan dióxido de carbono ( $CO_2$ ).
- Exportación de bases químicas en los productos de las cosechas.
- Exceso de fertilizantes nitrogenados a base de urea ya que acumulan y/o nitratos.

## 2.8. El recurso suelo en la selva peruana

### 2.8.1. Marco Conceptual y Jurídico

La selva peruana presenta una extensa variedad ecológica. El Instituto de investigación de la amazonia peruana (IIAP) manifiesta que la interrelación de los componentes climáticos, litológicos, morfológicos, y los procesos de formación e hidrográficos, son agentes físicos que explican la alta complejidad y diversidad de ecosistemas en esta área geográfica. Los factores de formación del suelo en la Amazonía se ven influenciados por el clima, notándose muchas diferencias entre los suelos de selva alta y selva baja por las temperaturas e intensidad de precipitación pluvial. Referido al tiempo como agente de formación de suelos en la selva peruana se tiene suelos jóvenes que son más fértiles en las zonas aluviales cercanos a los ríos en comparación en suelos de áreas más altas y de mayor tiempo que son más ácidos y de fertilidad baja. (IIAP, 1995). La amazonia del Perú tiene siete (07) órdenes de suelos dominantes, de ellos, los Ultisoles cubren el 65% (49.4 millones de ha) de superficie, los Entisoles e Inceptisoles con el 17% (12.8 millones de ha) y 14% (10.5 millones de ha), en ese orden. Los Alfisoles, Vertisoles, Molisoles y Espodosoles, abarcan el 4% (3.1 millones de ha) de superficie amazónica. Estas diversidades de suelo muestran la heterogeneidad de suelos y también aporta a la biodiversidad de la región. En tal sentido, de acuerdo a la clasificación taxonómica de suelos en la Amazonia Peruana, los aproximadamente 75.6 millones de hectáreas de extensión se encuentran distribuidos de la siguiente manera:



Fuente: IIAP, 1995. El recurso del Suelo en la Amazonía Peruana, Diagnóstico para su Investigación

**Figura 2.** Clasificación taxonómica del recurso suelo en la selva peruana

Los suelos Ultisoles son vulnerables a la erosión hídrica en mayor proporción en terrenos de altura de selva baja y laderas de selva alta. Presenta reacción ácida y fertilidad media baja en forma natural, son suelos bien drenados y profundos, Los Entisoles son suelos más jóvenes geológicamente que pertenecen los suelos aluviales, y aluviales no inundables. Aproximadamente el 15 % de los suelos de la selva presentan características de Inceptisoles, que son suelos también jóvenes en áreas de aguajales, mal drenadas y zonas con pendiente pronunciada, los suelos con características de Alfisoles ocupan el 3 % que se asemejan a los Ultisoles pero con menor acidez y mayor fertilidad. (MINAM, 2009). Por otra parte, de acuerdo a sus características, los suelos de la Amazonía peruana se distribuyen:

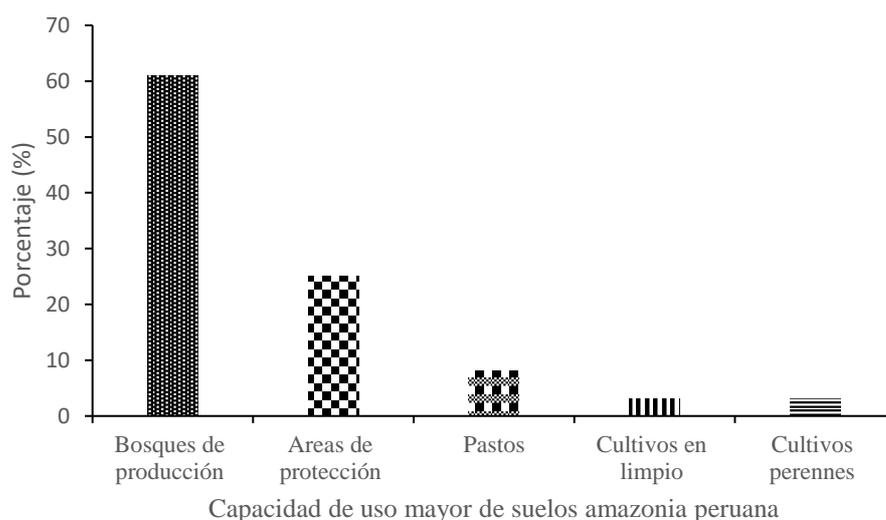
**Tabla 1.** Características de suelos de la Amazonía peruana.

| Característica | Agrupaciones de suelos   | Superficie (mill. ha) |
|----------------|--|-----------------------|
| I              | Suelos ácidos de baja fertilidad natural, bien drenado, topografía plana a suavemente ondulada (Ultisoles, Distropepts).                 | 38                    |
| II             | Suelos de topografía escarpada, fuertemente disectados (Entisoles, Inceptisoles, Ultisoles, Alfisoles).                                  | 23.4                  |
| III            | Suelos mal drenados, aluviales, aguajales (Aquepts, Aquentes).   | 10.1                  |
| IV             | Suelos de moderada y alta fertilidad natural con fertilidad plana a levemente ondulada (Alfisoles, Vertisoles, Inceptisoles, Entisoles). | 4.1                   |

Fuente: IIAP, 1995. El recurso del Suelo en la Amazonía Peruana, Diagnóstico para su Investigación.

## 2.9. Importancia y uso actual de los Suelos Amazónicos

Los componentes físicos del suelo establecen gran parte el potencial de su capacidad que establece las actividades antrópicas. El estado físico de un suelo, establece la fijación y penetración del sistema radicular, espacio poroso, drenaje, capacidad de campo, almacenamiento y distribución de nutrientes. De esta manera es necesario entender los componentes físicos del recurso suelo y cómo repercuten en la morfo-fisiología de la plantas. Incluyendo los componentes ambientales y químicos que también influyen en el suelo por los mismos factores de actividad de los ecosistemas donde se desarrollan. (UP-PNUMA).



Fuente: MINAM, 2009. Mapa de la Deforestación de la Amazonía Peruana 2000.

**Figura 3.** Capacidad de uso mayor de suelos en la selva peruana

### 2.10. El aluminio en el suelo

La toxicidad de aluminio es común en suelos ácidos y ocupan aproximadamente el 50 % de la superficie cultivada en el mundo, esta toxicidad por aluminio se caracteriza por ser limitante en el desenvolvimiento de los suelos ácidos (Casierra-Posada y Cárdenas–Hernández, 2007).

Los suelos tropicales poseen mayores cantidades de aluminio, el Al +3 se encuentra libre y es más solubilizado a pH menores que 5.0, estos valores son la principal limitantes del desarrollo vegetal, el comportamiento y dinámica química en los suelos ácidos está directamente relacionado a la química del aluminio. Yamamoto *et al.* (2001).

La acidez afecta a más de la mitad de la producción de tierras agrícolas del mundo, en suelos con pH ácidos menores a 5.0 el efecto que causa el aluminio es restringir elongación de la raíz y por lo tanto el crecimiento de plantas. La incorporación y/o el uso de genotipos resistentes de suelos ácidos son parte integral de la gestión de suelos ácidos. (Scott *et al.*, 2001)

Las investigaciones realizadas por Sivaguru *et al.* (2000), enmarca tres escenarios en que la función del ápice radicular se ve afectada por el aluminio y el estrés que este produce.

1. El ápice radicular o cofia casquete es sensible a la toxicidad de aluminio, en esta área radicular se presenta la acumulación del aluminio.
2. Existen respuestas de tolerancia a aluminio, se menciona que los exudados de ácidos orgánicos forman complejos que se acumulan en el ápice radicular.
3. La producción de calosa actúa como indicador de la susceptibilidad a aluminio.

### **2.10.1. Aluminio y nutrición mineral**

La productividad de las plantas y su crecimiento se ven afectadas directamente por el exceso de aluminio iónico, que se considera como principal agente limitante. (Kochian *et al.* 2004; Mora *et al.* 2004; Osawa *et al.* 2011). Después del oxígeno y el silicio, en la corteza terrestre el tercer elemento más abundante es el aluminio como ion trivalente. (Tahara *et al.* 2008a). Investigaciones hechas con cebada (*Hordéum vulgare* L.), muestran que el aluminio trivalente perturba la absorción de nutrientes, inhibiendo el acceso de calcio, potasio y amonio. (Nichol *et al.*, 1993).

Aun no se conoce el mecanismo de acción como el aluminio inhibe el movimiento de iones, pero se formula unas hipótesis, como la planteada por Suhayda y Haug, citados por Nichol *et al.* (1993), es que el aluminio podría fijarse los fosfolípidos a la membrana plástica modificando el equilibrio lipídico y alterando la actividad transportadora. Entre tanto Kinraide *et al.*, citados por Nichol *et al.* (1993), manifiestan que el aluminio podría disminuir la carga negativa relacionada a los lípidos fosfóricos y proteínas por fijación de grupos cargados que envuelven el potencial del área superficial. (Schoereoder, citado por Nichol *et al.*, 1993). La cantidad y actividad de los microorganismos se reduce en pH bajos a 5.0 y niveles altos de aluminio, en consecuencia la mineralización, fosforo, y azufre se vean reducidos. (Mora *et al.*, 1993).

### **2.10.2. Síntomas y efectos de estrés por aluminio en las plantas**

Muchas especies de plantas se ven afectadas por el efecto del aluminio que inhibe el desarrollo y crecimiento radicular, donde se ven afectados funciones importantes como la elongación radicular. (Mora *et al.*, 2005; Tamas *et al.*, 2006), limitando la captación hídrica y de nutrientes en la zona radicular, como valores del pH menores a 5.0 desorden en la asimilación de  $\text{Ca}^{2+}$ , etc (Koyama *et al.*, 2001; Grisel *et al.*, 2010; Inostroza-Blancheteau *et al.*, 2012). Muchos estudios referido al estrés en Aluminio se basan en el sistema radicular, donde los efectos se son perceptibles desde el inicio (Yamamoto *et al.* 2001; Barceló and Poschenrieder 2002). El exceso de aluminio produce entre los principales efectos anómalos, la disminución de las raíces y el crecimiento de la raíz principal, reducción del tamaño radical y del crecimiento del eje principal de las raíces. (Roy y Marschner citados por Radic, 2001).

También se ven afectados los brotes que son una respuesta secundaria al exceso de aluminio. (Lidon *et al.*, 1999). Al restringirse el desarrollo y crecimiento de nuevos brotes es evidente que el sistema radicular está afectado en un primer plano por cantidades tóxicas de aluminio. (Rengel 1996).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

Los experimentos fueron realizados en los campos experimentales “El Choclino” y “Juan Bernito” del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT), Tarapoto, región de San Martín; coordenadas UTM: 352745,4 y 9283879,4 y altitud 530 m.s.n.m.; y UTM: 352137,9 y 9281236,3 con altitud de 333 m.s.n.m. respectivamente. Ubicado dentro de la zona de vida de Bosque Seco Pre-Montano Tropical (bs-PT), acumulación fluvial anual en promedio de 1250 mm y la temperatura oscila entre 24-28 °C, humedad relativa promedio de 87 % (Fuente: Estación meteorológica Vantage Pro2-ICT, 2014)

#### 3.2. Metodología

##### 3.2.1. Sistema natural agroforestal mejorado (INAS)

El modelo o sistema de manejo natural agroforestal mejorado INAS, se estableció en un área espontánea de bosque secundario de 1.65; se realizó la poda o raleo selectivo de árboles forestales que proporcionaban mucha sombra hasta alcanzar una sombra entre 50 y 60 %; el cacao fue sembrado en un distanciamiento de 3 metros entre planta x 2 metros de calle, se sembraron también especies forestales maderables como el tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*), pali perro (*Vitex psedolea*), Capirona (*Calycophyllum spruceanum*), cacapana (*Simarouba amara*). Además, se instalaron plátanos a un distanciamiento de 6x3 metros.



**Figura 4.** Sistema de producción de cacao bajo sombra, sistema nativo agroforestal mejorado (INAS) – Improved native agroforestry system.

### 3.2.2. Sistema tradicional agroforestal mejorado (ITAS)

En el sistema ITAS, se realizó las actividades que normalmente hacen los agricultores de la selva; el rozo, derribo y quema del área experimental, posterior a esta actividad se realizó el trazado y alineamiento del área nueva para la siembra de los plantones de cacao. Para evitar la influencia de la quema en las propiedades del suelo se realizó un muestro antes de la tumba, rosa y quema, y posterior a estas actividades también se realizó un nuevo muestreo de suelos. Después de estas actividades de agricultura tradicional se sembró el cacao y plátano con

distanciamientos de 3 x 2 metros, aproximadamente 1666 plantas/ha y 4 x 3 metros (833 plantas/ha) respectivamente, así también se sembraron especie de sombra permanente en este caso shimbillo (Inga spp.) a un distanciamiento entre planta de 9 x 9 metros en la misma línea de siembra, esta especie es una leguminosa que aporta nitrógeno para las plantas de cacao. Los restos de troncos y ramas debido al corte de estos crea una cierta protección del impacto directo de la lluvia de esta forma impide una erosión directa y de impacto perjudicial en el suelo; evitando de esta forma procesos de degradación del suelo por erosión hídrica en la formación de surcos por la topografía accidentada en algunos puntos del sistema en evaluación.



**Figura 5.** Sistema de producción de cacao con manejo tradicional rozo, tumba y quema ITAS – Improved traditional agroforestry system.

### 3.2.3. Genotipos y tratamientos de cacao

Se seleccionaron al azar 10 clones de cacao, de un total de 60 clones ubicados en los dos modelos o sistemas. Los clones propagados por injertos provienen de cinco (5) colecciones nacionales y cinco (5) de colección internacional, más de un testigo propagado por semilla (híbrido), a continuación se muestran en el siguiente cuadro.

**Tabla 2.** Genotipos y tratamientos considerados en el estudio.

| <b>Sistema</b>              | <b>Genotipo</b>       | <b>Descripción</b>               | <b>Origen</b> | <b>Característica</b> |
|-----------------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------|-----------------------|
| Tradicional<br>Agroforestal | ICS-95                | Imperial College Selection       | Trinitario    | AC,RMo                |
| Tradicional<br>Agroforestal | UF-613                | United Fruit Series              | Trinitario    | AC                    |
| Tradicional<br>Agroforestal | CCN-51                | Colección Castro Naranjal        | Ecuador       | AC, Res,AP            |
| Tradicional<br>Agroforestal | ICT-1112              | Instituto de Cultivos Tropicales | Juanjui       | AC                    |
| Tradicional<br>Agroforestal | ICT-1026              | Instituto de Cultivos Tropicales | Juanjui       | AC                    |
| Tradicional<br>Agroforestal | ICT-2162              | Instituto de Cultivos Tropicales | Tocache       | AC                    |
| Tradicional<br>Agroforestal | ICT-2171              | Instituto de Cultivos Tropicales | Tocache       | AC, Res               |
| Tradicional<br>Agroforestal | ICT-2142              | Instituto de Cultivos Tropicales | Tocache       | AC, Res               |
| Tradicional<br>Agroforestal | H-35                  | Colección Huallaga               | Huallaga      | AC                    |
| Tradicional<br>Agroforestal | U-30                  | Colección Ucayali                | Ucayali       | AC                    |
| Tradicional<br>Agroforestal | Híbrido<br>espontáneo | Híbrido (control)                | Perú          |                       |

AC= Autocompatible, Rmo=Resistente nonilia, Res=Resistente escoba de bruja, AP=Alta Productividad.

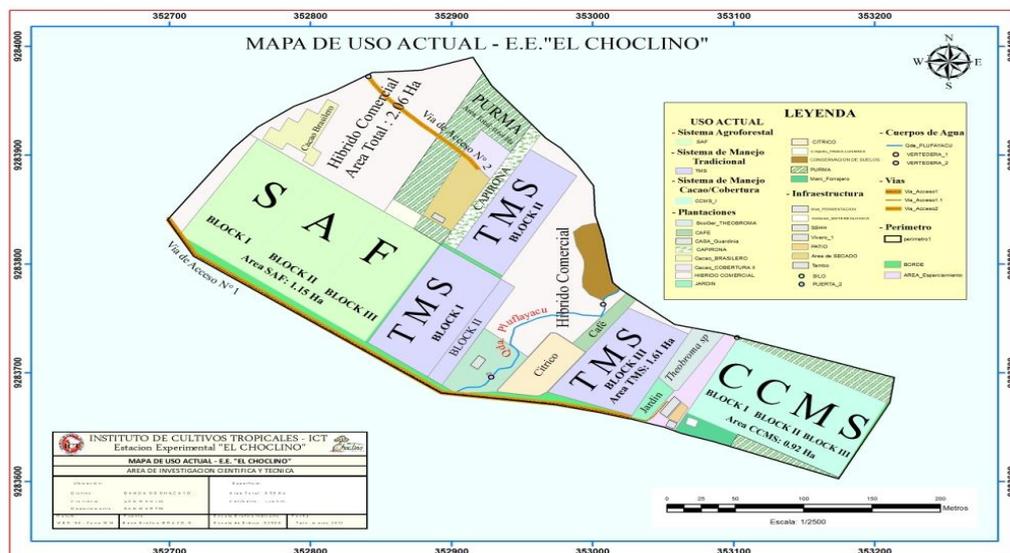
(Fuente: Instituto de cultivos tropicales)

#### ➤ **Diseño estadístico**

Se usó en este experimento diseño DBCA con arreglo factorial y tres repeticiones, cada modelos de manejo tiene tres bloques, tal como se detalla en la Figura 7. Cada componente o parcela experimental posee un área de 60 m<sup>2</sup> con un total de diez plantas de cacao. (Fuente: Instituto de cultivos tropicales).

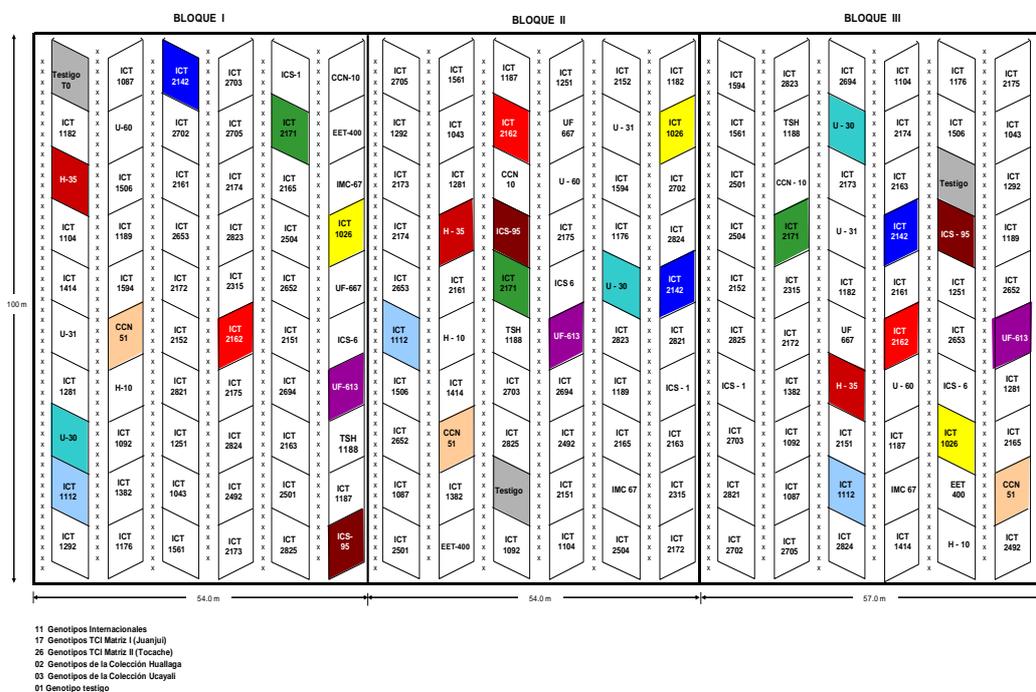
### 3.2.4. Mapa general de los sistemas evaluados

Se observa en el siguiente mapa el área de los modelos o sistemas de manejo y producción de cacao INAS e ITAS.



Fuente: Instituto de cultivos tropicales

**Figura 6.** Croquis del área experimental El Chocloclino – ICT, mostrando los modelos de manejo de cacao.



Fuente: Instituto de cultivos tropicales

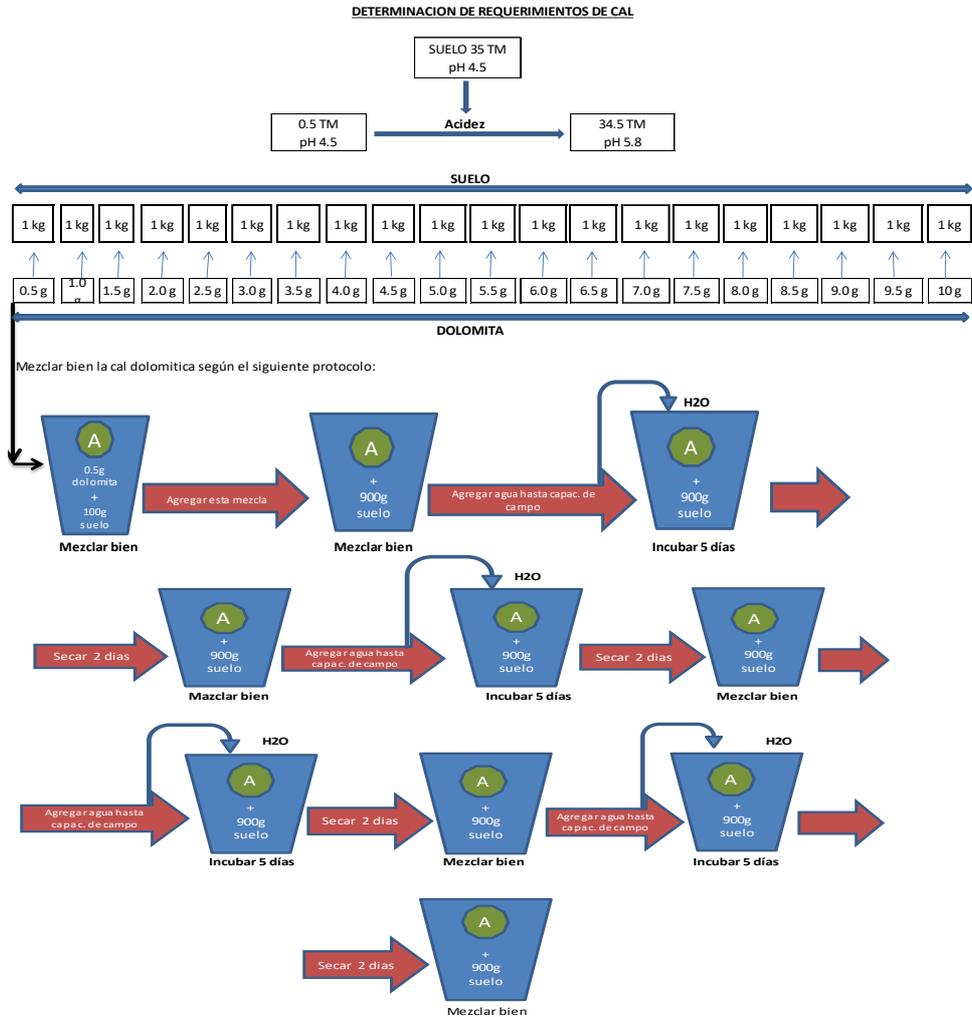
**Figura 7.** Croquis de los clones instalados en los modelos de producción INAS e ITAS, elegidos para el experimento.

### 3.2.5. Recolección de muestras de suelos

Se colectaron muestras en los años (2012, 2014 y 2016), a 20 cm de profundidad, en sub parcelas donde se encuentran instalados los 10 clones y el testigo de cacao híbrido, en los tres bloques de cada sistema de manejo INAS e ITAS. Las muestras se llevaron al laboratorio del instituto de cultivos tropicales, donde se uniformizó obteniendo una muestra de 1kg.

### 3.2.6. Ensayo de encalamiento (estandarización del pH óptimo del suelo)

Se realizó muestreos de diferentes procedencias de suelo para encontrar el pH requerido para el ensayo que es de 4.5 con saturación de Aluminio igual o mayor al 30 %, después analizadas en el laboratorio, las muestras colectadas en el bosque secundario de la estación experimental Juan Bernito (ICT) resultaron ser las ideales para el proyecto, con este suelo se hizo el ensayo de estandarización del pH con dolomita de acuerdo al siguiente flujo grama:



Fuente: USDA-ARS/ICT (Protocolo proyecto estrés abiótico)

**Figura 8.** Estandarización de pH de suelos con dolomita

### 3.2.7. Encalado de suelo en macetas

Todas las macetas tuvieron el mismo sustrato, igual clase textural, volumen de tierra y en iguales condiciones de capacidad de campo, ya que partieron de una muestra base extraída de un mismo lugar.

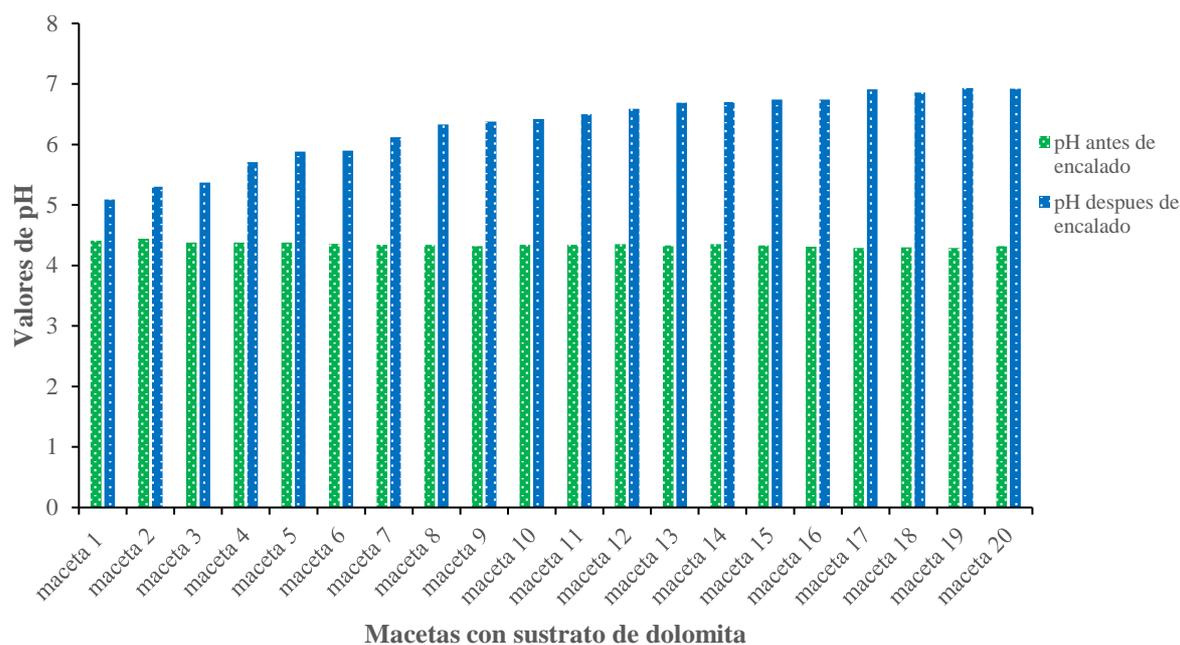
**Tabla 3.** Medición del pH antes y después de encalamiento del sustrato.

| N° Macetas (M)         | M-1  | M-2  | M-3  | M-4  | M-5  | M-6  | M-7  | M-8  | M-9  | M-10 |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| pH antes de encalado   | 4.41 | 4.44 | 4.38 | 4.38 | 4.38 | 4.36 | 4.38 | 4.34 | 4.32 | 4.34 |
| pH después de encalado | 5.09 | 5.30 | 5.37 | 5.71 | 5.88 | 5.90 | 6.12 | 6.33 | 6.38 | 6.42 |
| Diferencia de pH       | 0.68 | 0.86 | 0.99 | 1.33 | 1.50 | 1.54 | 1.74 | 1.99 | 2.06 | 2.08 |

| N° Macetas (M)         | M-11 | M-12 | M-13 | M-14 | M-15 | M-16 | M-17 | M-18 | M-19 | M-20 |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| pH antes de encalado   | 4.34 | 4.35 | 4.33 | 4.35 | 4.33 | 4.31 | 4.29 | 4.30 | 4.29 | 4.32 |
| pH después de encalado | 6.50 | 6.59 | 6.69 | 6.70 | 6.74 | 6.74 | 6.91 | 6.86 | 6.93 | 6.92 |
| Diferencia de pH       | 2.16 | 2.24 | 2.36 | 2.35 | 2.41 | 2.43 | 2.62 | 2.56 | 2.64 | 2.60 |

La aplicación de cal dolomítica se realizó a razón de cantidades progresivas de 0.5 gramos por cada kilogramo de suelo hasta llegar a 10 gramos por kilogramo de suelo con pH de 4,7; es necesario realizar estas actividades bajo techo así evitamos que la lluvia altere los datos reales de medición. Todas la macetas conteniendo sustrato fueron sometidos a capacidad de campo por un espacio de 24 horas y se evaluó el pH diariamente a la misma hora, de esta manera estos datos indicaron la cantidad de enmienda a base de dolomita que se requiere para alcanzar niveles de 5.8 de pH ideales para la mayoría de cultivos. Además nos muestra que, aplicando 2.0, 2.5 y 3.0 g de dolomita por kilogramo de suelo se puede llegar a niveles óptimos de pH con valores menores a 0.25 % de saturación de Aluminio.



**Figura 9.** Requerimiento de dolomita para estandarizar pH de suelos ácidos



**Figura 10.** Ensayo de estandarización de pH de suelos

### 3.2.8. Metodología de selección de genotipos tolerantes a suelos ácidos

Las plántulas de cacao enraizadas fueron repicadas en maceteros de plástico con capacidad de 6 kg donde se colocó suelo con clase textural de franco arcilloso, con pH 4.7 y 30 % de saturación de aluminio (ensayo 1) y pH 5.8 con menor del 0.25 % de saturación de aluminio (ensayo 2), este último ensayo fue encalado con dolomita; ambos ensayos se le aplicó la fórmula de fertilización química convencional de 60N, 50P, 90K (urea, superfosfato triple de calcio y cloruro de potasio). Se usaron para este experimento quince (15) clones por colección (colección 1: Internacional, colección 2: ICT, colección 3: Brasil, colección 4: Silvestre) Anexo 1 y 2. Las plántulas fueron cultivadas por seis meses a capacidad de campo, se mantuvo el porcentaje de luz

solar en el vivero a 50 %, las variables climáticas como temperatura y humedad relativa fueron monitoreados por un thermohidrometro dentro del vivero. Se realizaron el registro de datos morfológicos de las plántulas durante el tiempo de evaluación en las macetas hasta una semana antes de ser sacrificas. Estas características morfológicas fueron: altura de planta, diámetro de tallo, numero de ramas, numero de hojas, contenido de clorofila, conductancia estomática, área foliar, las plantas fueron sacrificadas al terminar los seis meses de evaluación en vivero, donde se realizó la separación de parte aérea (tallo y ramas) y parte radicular (raíz), se registró el peso fresco y fueron secadas en estufa por 3 días a 75 °C para calcular su peso en seco, estos valores sirvieron para obtener la biomasa de cada clon en ambos tratamientos.

### 3.2.9. Índice de tolerancia a suelos ácidos

$$ITSA (g) = [(Peso A + Peso B \text{ g de T1}) / (Peso A + Peso B \text{ g de T2}) \times 100] \quad (1)$$

Donde:

ITSA: Índice de tolerancia a suelos ácidos

Peso A: Peso seco parte aérea

Peso B: Peso seco parte radicular

T1: Tratamiento 1

T2: Tratamiento 2

**Tabla 4.** Rangos de clasificación del índice de tolerancia a suelos ácidos.

| Valores fórmula ITSA | Clasificación         |
|----------------------|-----------------------|
| $\leq 70$            | Suceptible (S)        |
| $>70 \leq 90$        | Tolerancia media (TM) |
| $> 90$               | Tolerante (T)         |

Fuente: Baligar et al, 1997

#### ➤ **Diseño estadístico**

Este experimento consta en una parcela dividida en dos tratamientos de valores de pH y saturación de aluminio y en sub parcelas conformado por los clones de cacao, cada unidad experimental conformado de tres repeticiones. Se usó ANOVA para los análisis estadísticos.

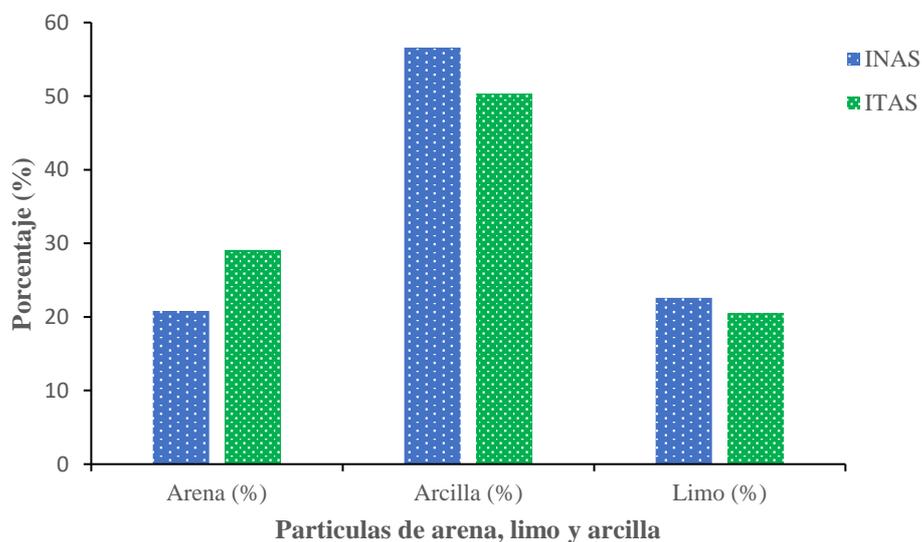
## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Propiedades físicas

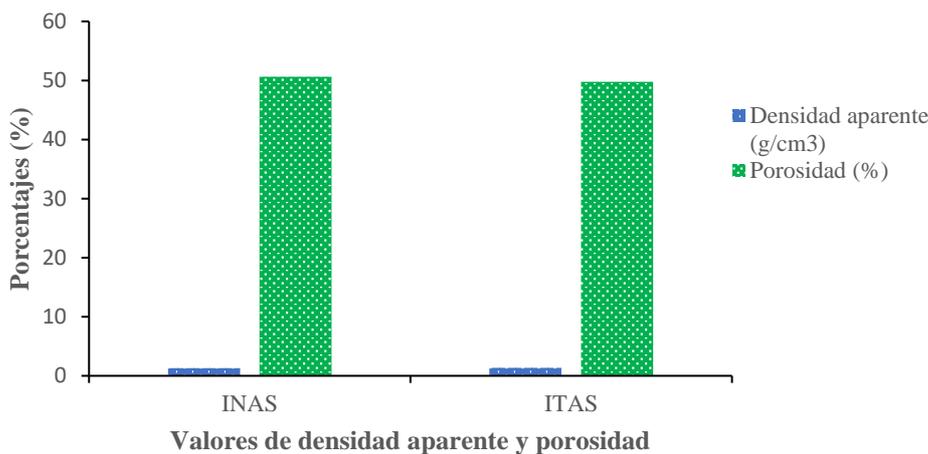
En la tabla 5, se describe las medias de las características físicas de los tres años colectados (2012, 2014 y 2016) en los modelos o sistemas de manejo INAS e ITAS para todas las características físicas evaluados.

**Tabla 5.** Características físicas de suelos de los modelos de manejo de cacao, E.E. “El Choclino”.

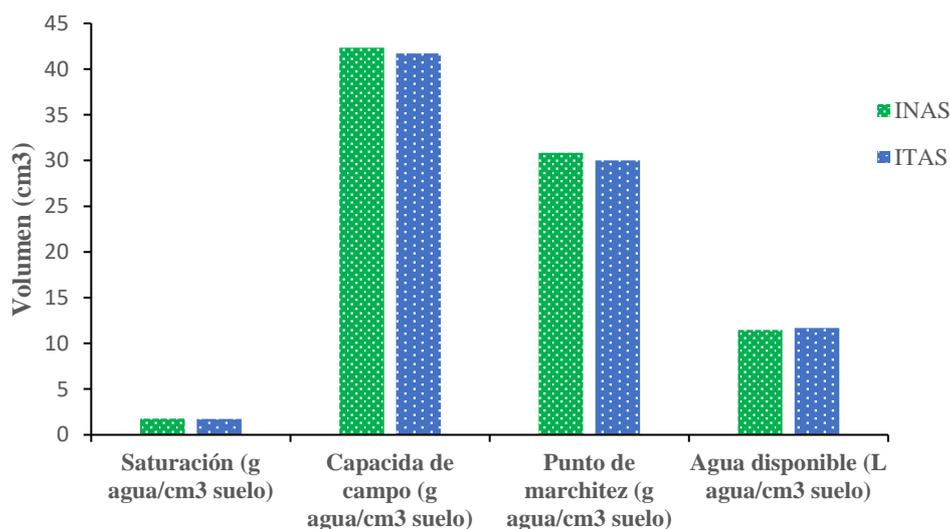
| Propiedades físicas                               | Sistema |       |
|---|---------|-------|
|   | INAS    | ITAS  |
| Arena (%)   | 20,82   | 29,11 |
| Arcilla (%)                                       | 56,58   | 50,35 |
| Limo (%)  | 22,59   | 20,55 |
| Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )            | 1,31    | 1,33  |
| Porosidad (%)                                     | 50,63   | 49,8  |
| Saturación (g agua/cm <sup>3</sup> suelo)         | 1,77    | 1,73  |
| Capacida de campo (g agua/cm <sup>3</sup> suelo)  | 42,35   | 41,73 |
| Punto de marchitez (g agua/cm <sup>3</sup> suelo) | 30,87   | 30,03 |
| Agua disponible (L agua/cm <sup>3</sup> suelo)    | 11,48   | 11,7  |



**Figura 11.** Porcentajes de arena, arcilla y limo en los modelos INAS e ITAS



**Figura 12.** Datos de densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>) y espacio poroso (%) del suelo en los modelos INAS e ITAS.



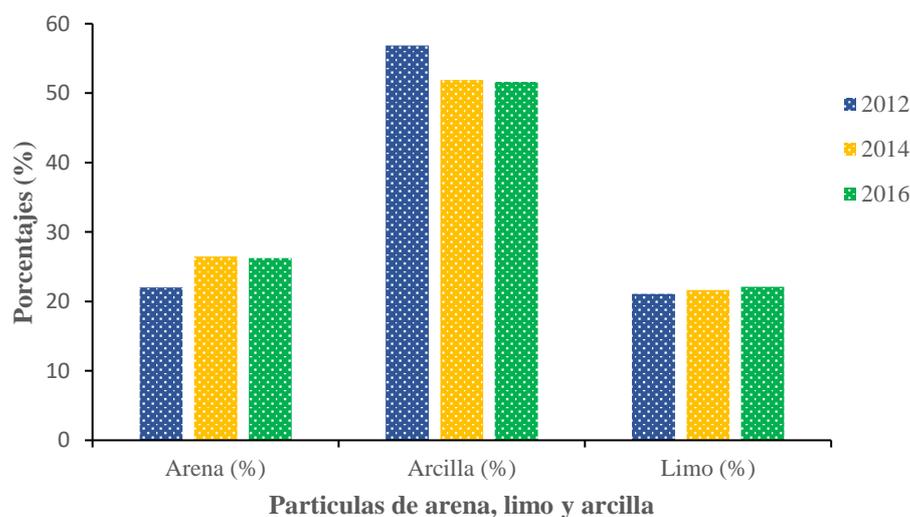
**Figura 13.** Valores de bases saturadas, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, agua disponible.

Los resultados de la clase textural evaluados de los modelos de manejo de cacao estudiados, señala que el suelo en diferentes tipos de sistema de manejo y cobertura vegetal prevalece la clase textural arcillosa, por la formación o génesis natural del suelo, típico en los suelos de la selva peruana, por la topografía del terreno que describen áreas con pendiente plana y otras mayores a 35 grados; esto nos muestra que la textura en un componente físico en su mayor permanente y no sufre modificaciones en espacios de tiempo corto e incluso aun en muchas décadas. La clase textural del suelo en comparación con otras variables, es un indicador que posee características propias casi independientes que puede ser considerado un plus natural para determinar la calidad

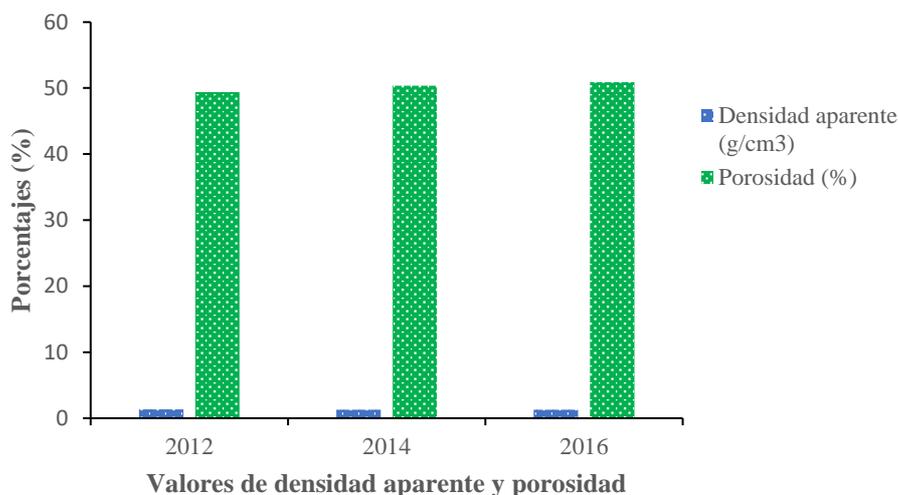
del suelo, pero está a la vez determinará directamente en otras variables físicas de suelo como la densidad aparente, espacio poroso, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, tipo de arcilla y en las propiedades químicas también influirá en el pH, CIC, saturación de aluminio, contenido disponible de nutrientes, entre otros. Las características de porosidad son mayores en el sistema de manejo INAS, que muestra un valor de 50,63 % sobre el sistema de manejo ITAS con 49,8 % de porosidad, estos valores indican que probablemente la influencia de la biodiversidad de árboles forestales más los árboles de cacao presentes en el sistema INAS por su sistema radicular más diverso crea mayores espacios porosos en el recurso suelo.

**Tabla 6.** Características físicas de suelo en los modelos de manejo de cacao durante los años evaluados. E.E. “El Choclino”.

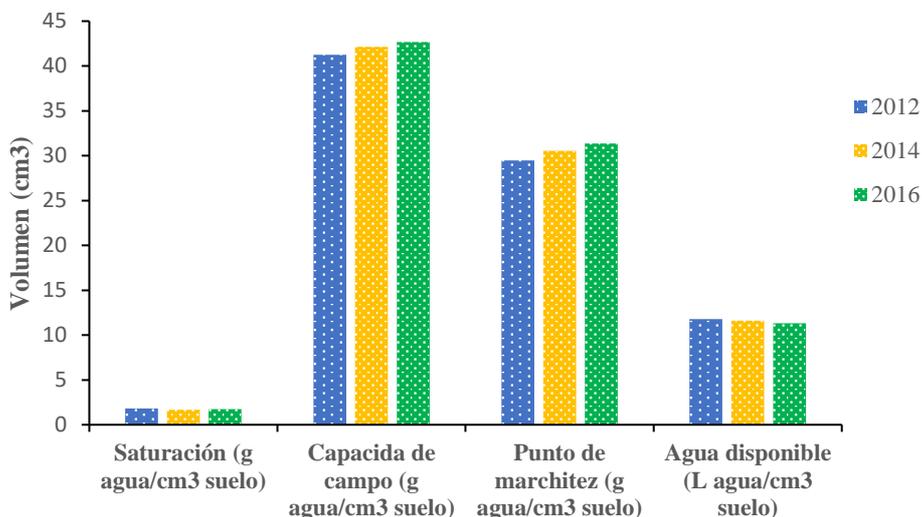
| Propiedades físicas                               | Año   |       |       |
|---|-------|-------|-------|
|   | 2012  | 2014  | 2016  |
| Arena (%)   | 22,03 | 26,47 | 26,24 |
| Arcilla (%)                                       | 56,86 | 51,9  | 51,63 |
| Limo (%)  | 21,11 | 21,64 | 22,12 |
| Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )            | 1,34  | 1,31  | 1,3   |
| Porosidad (%)                                     | 49,38 | 50,38 | 50,89 |
| Saturación (g agua/cm <sup>3</sup> suelo)         | 1,83  | 1,67  | 1,74  |
| Capacidad de campo (g agua/cm <sup>3</sup> suelo) | 41,26 | 42,15 | 42,69 |
| Punto de marchitez (g agua/cm <sup>3</sup> suelo) | 29,47 | 30,53 | 31,36 |
| Agua disponible (L agua/cm <sup>3</sup> suelo)    | 11,79 | 11,62 | 11,33 |



**Figura 14.** Porcentajes de arena, arcilla y limo en los modelos INAS e ITAS



**Figura 15.** Valores de densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>) y espacio poroso (%) en años



**Figura 16.** Valores de saturación, capacidad de campo, punto de marchitez y agua disponible.

Los resultados muestran que en los años evaluados (muestreo de suelo cada dos años), las características físicas del suelo en ambos sistemas INAS e ITAS no sufren modificaciones importantes en forma significativa, los valores de porcentaje de arena se incrementan del año 2012 en 2 % para los años 2014 y 2016 con 26,47 % y 26,24 % respectivamente; en contraste los porcentajes de arcilla que disminuyen en el año 2012 (56,86 %) en 5 % en promedio, para los años 2014 (51,90 %) y 2016 (51,63 %) respectivamente; los porcentajes de limo se mantienen casi constantes entre los años 2012 (21,11 %) al 2016 (22,12 %).

Se resalta que estos mínimos valores cambiantes por año en arena, arcilla y limo no cambian predominantemente la clase textural en los sistemas evaluados porque se aprecia que se estabilizan en los años 2014 y 2016.

Los porcentajes de porosidad registrados en los años 2014 y 2016 son superiores en comparación al año 2012, estos valores tienen relación con la densidad aparente esto quiere decir que ambos indicadores físicos podrían ser alterados por el tipo de agricultura, tipo de manejo, cultivos. Valores de humedad del suelo, tipo y contenido de arcilla están relacionados directamente con saturación de agua, capacidad de campo y punto marchitez, teniendo en cuenta que las plantas usan las raíces para absorber agua y soluciones minerales así de esta forma satisfacer sus necesidades fisiológicas, una reducida capacidad de retención de agua y una clase textural con mayor porcentaje de arena, menor materia orgánica, menor porcentaje de arcilla será perjudicial en la absorción de agua por las raíces de las plantas.

**Tabla 7.** Medias de las propiedades físicas del suelo con 10 clones de cacao

| Propiedades físicas                          | Genotipo |       |       |          |          |          |          |          |        |        |        |         |
|--|----------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|--------|---------|
|  | Hibrido  | U-30  | H-35  | ICT-2142 | ICT-2171 | ICT-2162 | ICT-1026 | ICT-1112 | CCN-51 | UF-613 | ICS-95 | Pv      |
| Arena (%)                                    | 23.63    | 22.15 | 24.07 | 20.08    | 20.82    | 23.94    | 26.9     | 31.14    | 28.72  | 24.24  | 28.33  | <0,0001 |
| Arcilla (%)                                  | 54.63    | 57.51 | 55.01 | 56.98    | 57.12    | 55.81    | 50.12    | 45.75    | 48.76  | 55.07  | 51.36  | <0,0001 |
| Limo (%)                                     | 21.74    | 30.34 | 20.92 | 22.95    | 22.07    | 20.25    | 22.98    | 23.11    | 22.52  | 20.69  | 20.31  | 0.0077  |
| Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )       | 1.32     | 1.33  | 1.31  | 1.31     | 1.31     | 1.3      | 1.31     | 1.33     | 1.32   | 1.33   | 1.33   | 0.8371  |
| Porosidad (%)                                | 50.22    | 49.98 | 50.43 | 50.41    | 50.42    | 50.75    | 50.62    | 49.81    | 50.02  | 50     | 49.7   | 0.8626  |
| Saturación (g agua/cm <sup>3</sup> suelo)    | 2.28     | 2.35  | 1.68  | 1.99     | 1.46     | 1.33     | 1.2      | 1.65     | 1.97   | 1.42   | 1.91   | 0.0944  |
| Capacida de campo (g agua/cm <sup>3</sup> )  | 41.59    | 41.21 | 42.23 | 41.84    | 42.73    | 43.06    | 43.24    | 41.66    | 41.4   | 42.06  | 41.38  | 0.3328  |
| Punto de marchitez (g agua/cm <sup>3</sup> ) | 30.11    | 29.75 | 30.46 | 30.25    | 31.27    | 31.47    | 31.69    | 30.0     | 29.87  | 30.47  | 29.62  | 0.3764  |
| Agua disponible (L agua/cm <sup>3</sup> )    | 11.48    | 11.46 | 11.77 | 11.59    | 11.46    | 11.59    | 11.55    | 11.66    | 11.53  | 11.59  | 11.76  | 0.6290  |

## 4.2. Propiedades químicas

**Tabla 8.** Propiedades químicas de suelos comparados en los sistemas INAS e ITAS

| Propiedades químicas | pH    | C.E<br>(d s/m) | CaCO <sub>3</sub> | MO (%) | N (%) | P (ppm) | K (ppm) | CIC   | Ca+2  | Mg+2  | K+    | Al+3 + H+ | Suma<br>bases | %<br>Sat. | %<br>Sat. |
|----------------------|-------|----------------|-------------------|--------|-------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-----------|---------------|-----------|-----------|
| INAS                 | 6.17  | 0.20           | 1.94              | 3.57   | 0.16  | 12.52   | 103.66  | 25.21 | 22.36 | 2.18  | 0.27  | 0.32      | 24.88         | 97.70     | 2.30      |
| ITAS                 | 5.78  | 0.11           | 0.00              | 3.54   | 0.15  | 12.66   | 94.66   | 22.75 | 20.29 | 2.06  | 0.24  | 0.15      | 22.60         | 98.89     | 1.11      |
| Pv                   | 0.001 | 0.000          | 0.000             | 0.807  | 0.760 | 0.959   | 0.216   | 0.095 | 0.148 | 0.329 | 0.209 | 0.081     | 0.128         | 0.110     | 0.111     |

La tabla 8, describe los resultados de las variables químicas en los modelos de manejo INAS e ITAS se muestran significancia en pH, conductividad eléctrica y carbonato de calcio, El pH varia en un rango de 6.17 (INAS) a 5,78 (ITAS), el pH; es una de las propiedades químicas más determinantes e importantes, que va influenciar directamente en la fisiología vegetal y desarrollo de las plantas, asimilación de macro y micro nutrientes, toxicidad de elementos por ejemplo el caso de saturación de aluminio.

El sistema de manejo INAS presenta un pH menos ácido y más cercano al neutro en contraste que el sistema de manejo ITAS, esto podría deberse a que el sistema INAS alberga arboles forestales de mayor tamaño, biodiversidad, con mayor área foliar y superficie radicular, capaces de influenciar en los valores de pH del suelo y lixiviación de nutrientes con respecto a la acides y su efecto perjudicial en las plantas; ya que estas mayores áreas foliares cumple la función de cobertura vegetal natural y permanente frente a las altas precipitaciones y su impacto directo en el pH del suelo comunes en zonas tropicales de la amazonia.

El sistema INAS registró mayor significancia de conductividad eléctrica, valores de materia orgánica no poseen diferencias resaltantes en los modelos evaluados, si registran valores medio-altos, se incrementó en el modelo INAS (3.57%) e ITAS (3.54%), estos valores se debe a la dinámica que presenta estos sistemas y la asociación con especies forestales tanto de lento y rápido crecimiento que incorporan espontáneamente la vegetación que se recicla en la misma área donde se desarrolla.

La saturación de aluminio en ambos sistemas de manejo en promedio no representa ser perjudicial para las funciones fisiológicas y crecimiento de las plantas de cacao y las especies asociadas en los sistemas de manejo INAS e ITAS, estos valores están relacionados al pH del suelo y tipo de arcillas y sus valores difirieren de los porcentajes de saturación de bases, a mayor porcentaje de saturación de bases menor será el porcentaje de saturación de aluminio y por consecuencia menor la toxicidad de aluminio en las plantas. La Capacidad de intercambio catiónico, cationes como el Ca, Mg y K tienen mejores condiciones de estabilidad de acuerdo al

manejo en relación con el ecosistema, esto quiere decir que un sistema de manejo ecológico y amigable con el ambiente será más equilibrado que uno instalado bajo la óptica de la agricultura migratoria.

**Tabla 9.** Medias de las propiedades químicas del suelo

| Propiedades químicas | pH    | C.E<br>(d s/m) | CaCO <sub>3</sub> | MO (%) | N (%) | P (ppm) | K (ppm) | CIC   | Ca+2  | Mg+2  | K+    | Al+3+H+ | Suma<br>bases | %<br>Sat. | %<br>Sat. |
|----------------------|-------|----------------|-------------------|--------|-------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|---------------|-----------|-----------|
| 2012                 | 6.16  | 0.17           | 1.01              | 3.41   | 0.15  | 5.86    | 52.91   | 25.84 | 23.38 | 2.11  | 0.14  | 0.15    | 25.67         | 98.71     | 1.29      |
| 2014                 | 5.84  | 0.13           | 1.08              | 3.44   | 0.15  | 6.61    | 72.29   | 19.20 | 17.16 | 1.58  | 0.19  | 0.28    | 18.92         | 97.48     | 2.52      |
| 2016                 | 5.92  | 0.16           | 0.89              | 3.81   | 0.17  | 25.27   | 172.94  | 26.90 | 23.41 | 2.68  | 0.44  | 0.27    | 26.63         | 98.72     | 1.29      |
| Pv                   | 0.065 | 0.012          | 0.929             | 0.058  | 0.034 | 0.000   | 0.000   | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.439   | 0.000         | 0.280     | 0.281     |

La tabla 9, muestra las características químicas del suelo en los modelos de manejo de cacao, del 2012 al 2016, se observan significancia en conductividad eléctrica (C.E), porcentaje de nitrógeno, valores de fósforo, potasio, Capacidad de intercambio de cationes, Calcio, Magnesio, potasio. La CIC del suelo presentó cambios en los años 2012 (25.84), 2014 (19.20) y 2016 (26,90), las variaciones de estos últimos años (2015 y 2016), se deben a que se realizaron labores de manejo como las podas de mantenimiento del cacao y raleo de sombra permanente todo este material vegetal se transforma en materia orgánica propio de la biodegradación y mineralización de biomasa aérea aportada por los sistemas de manejo de cacao.

Los porcentajes de materia orgánica registraron un ligero valor ascendente entre los años 2012 al 2016, valores de 3.41 %, 3.44 % y 3.81 % respectivamente, la materia orgánica mejora la acumulación de nutrientes, disminuye la acides del suelo, toxicidad de aluminio y mantiene en equilibrio la capacidad de intercambio catiónico.

Es importante tomar conciencia de lo importante que es un sistema ecológico equilibrado donde a través del tiempo las actividades que realicemos definirá el beneficio o impacto negativo del propio ecosistema y de nuestro futuro en la agricultura y sociedad. En el año 2016 en comparación con los años 2014 y 2012, de la misma manera el P y K tienden a ser mayores, con 25.27 ppm y 172.94 ppm respectivamente, estos incrementos se deben al plan de abonamiento en los sistemas en evaluación.

**Tabla 10.** Medias de las características químicas del suelo con 10 clones de cacao

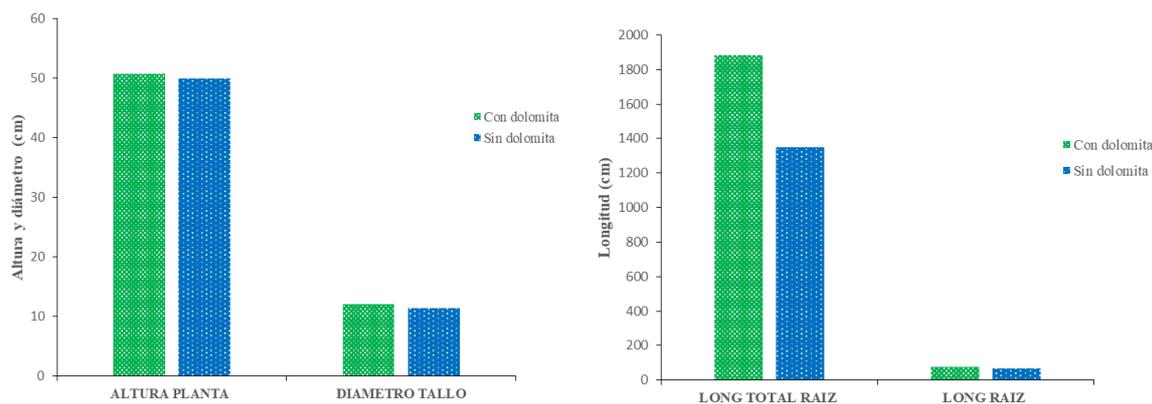
| Propiedades químicas | pH    | C.E<br>(d s/m) | CaCO3 | MO (%) | N (%) | P (ppm) | K (ppm) | CIC   | Ca+2  | Mg+2  | K+    | Al+3 + H+ | Suma<br>bases | %<br>Sat.<br>Bases | %<br>Sat.<br>Al |
|----------------------|-------|----------------|-------|--------|-------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-----------|---------------|--------------------|-----------------|
| Híbrido              | 5.85  | 0.15           | 0.75  | 3.37   | 0.15  | 14.23   | 96.72   | 21.60 | 18.86 | 2.16  | 0.25  | 0.17      | 21.44         | 98.74              | 1.27            |
| H-35                 | 5.96  | 0.19           | 0.00  | 3.68   | 0.17  | 11.36   | 103.28  | 28.45 | 25.50 | 2.54  | 0.26  | 0.07      | 28.38         | 99.77              | 0.23            |
| U-30                 | 5.90  | 0.15           | 1.16  | 3.67   | 0.16  | 8.74    | 103.93  | 27.57 | 25.21 | 1.90  | 0.27  | 0.18      | 27.40         | 98.12              | 1.88            |
| ICT-1112             | 5.92  | 0.16           | 1.55  | 3.57   | 0.16  | 13.78   | 87.56   | 21.62 | 18.89 | 1.96  | 0.22  | 0.52      | 21.10         | 96.20              | 3.80            |
| CCN-51               | 5.61  | 0.10           | 0.00  | 3.00   | 0.14  | 16.45   | 92.94   | 19.45 | 16.75 | 1.91  | 0.24  | 0.53      | 18.91         | 96.76              | 2.24            |
| ICT-1026             | 6.19  | 0.14           | 1.08  | 3.37   | 0.15  | 11.55   | 82.50   | 22.76 | 20.64 | 1.85  | 0.21  | 0.05      | 22.71         | 99.40              | 0.60            |
| ICT-2142             | 6.21  | 0.20           | 0.36  | 4.01   | 0.18  | 13.10   | 118.22  | 26.95 | 24.26 | 2.30  | 0.30  | 0.08      | 26.88         | 99.35              | 0.66            |
| ICT-2162             | 5.84  | 0.12           | 0.00  | 3.54   | 0.16  | 11.44   | 94.44   | 23.68 | 20.77 | 2.53  | 0.24  | 0.14      | 23.54         | 99.23              | 0.77            |
| ICT-2171             | 6.25  | 0.17           | 3.10  | 3.51   | 0.16  | 13.63   | 115.94  | 26.48 | 23.65 | 2.34  | 0.30  | 0.09      | 26.38         | 99.66              | 0.34            |
| UF-613               | 6.11  | 0.16           | 1.43  | 4.04   | 0.19  | 13.72   | 115.06  | 25.56 | 22.76 | 2.06  | 0.30  | 0.37      | 25.14         | 98.18              | 1.83            |
| ICS-95               | 5.87  | 0.13           | 1.49  | 3.33   | 0.15  | 10.40   | 82.56   | 19.65 | 17.19 | 1.83  | 0.21  | 0.40      | 19.25         | 95.92              | 4.08            |
| Pv                   | 0.403 | 0.019          | 0.103 | 0.153  | 0.109 | 0.774   | 0.411   | 0.061 | 0.054 | 0.151 | 0.416 | 0.200     | 0.049         | 0.212              | 0.212           |

Se describe los resultados de las variables químicas de 10 clones y un testigo de cacao en los modelos de manejo INAS e ITAS, encontrando diferencias significativas para conductividad eléctrica y suma de bases. El valor de pH más ácido de 5.61 se encuentra en el genotipo CCN-51, y el valor más alto en el genotipo ICT-2171 con 6.25; el rango de pH ideal para que el cacao se desarrolle fisiológicamente se encuentra entre 5.5 y 6.5.

El porcentaje más bajo de materia orgánica se encuentra en el genotipo CCN-51 con 3 % y el de mayor porcentaje en el genotipo UF-613 con 4.04 % estos porcentajes de materia orgánica se encuentran en valores de medios a altos, esto se debe a la incorporación de hojarasca y su descomposición en materia orgánica propio de sistemas agroforestales por las actividades de podas de mantenimiento del cacao y podas de raleo de las especies forestales, igual tendencia sigue el N en los mismos genotipos, para P disponible el valor mínimo de 8.74 ppm en el genotipo U-30, mientras el valor máximo de 16.45 ppm en el genotipo CCN-51, para el caso de potasio disponible el valor mínimo de 82.50 ppm en el genotipo ICT-1026, y el máximo valor en el genotipo ICT-2142 con 118.22 ppm. Referido al porcentaje de saturación de aluminio se encontraron porcentajes mínimos en el genotipo H-35 con 0.23 % y alcanzando el porcentaje mayor en el genotipo ICS-95 con 4.08 %, estos porcentajes no representan toxicidad de aluminio para las plantas de cacao en estudio y está relacionado a los valores de pH en el suelo siendo estos moderadamente ácidos.

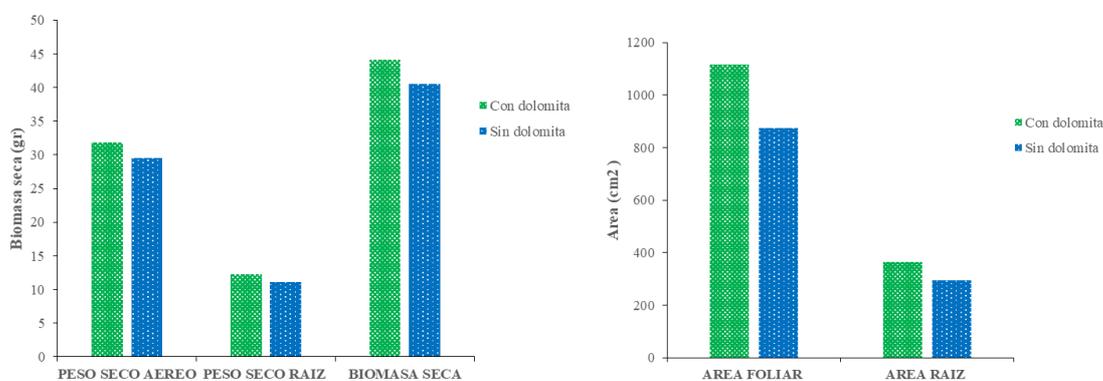
### 4.3. Comportamiento de variables biométricas de cacao sometidas a suelos ácidos

En la figura 22 el promedio en altura de planta registró 49.86 cm y diámetro de tallo 11.4 cm para plantas sometidas a suelos ácidos con valores de 4.7 de pH y 30 % de saturación de aluminio y en plantas sometidas a pH 5.8 con adición de dolomita registraron 50.74 cm de altura y 11.99 cm de diámetro de tallo, con respecto a la longitud radicular total los genotipos sometidos a acidez de suelo pH 4.7 registraron 1 347.8 cm; mientras los genotipos con pH 5,8 obtuvieron 1 883.68 cm.



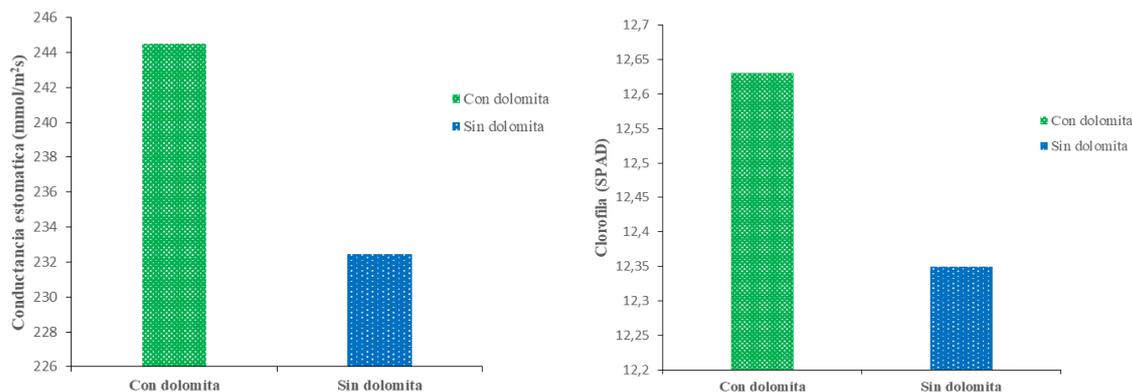
**Figura 17.** Valores de altura de planta, diámetro de tallo y longitud radicular de genotipos de cacao en estudio.

La figura 17, muestra el promedio de biomasa seca de la parte aérea, radicular y biomasa total obtenido por tratamiento, registrando 40.53 g de biomasa total para plantas sometidas a pH 4.7 y 30 % de saturación de aluminio en comparación las plantas sometidas a pH 5.8 con aplicación de dolomita obtuvieron una biomasa seca total de 44.16 g. Con respecto al área foliar los genotipos con pH 4.7 registran 875.09 cm<sup>2</sup> valores inferiores a los genotipos con pH 5.8 que alcanzan los 1 114.3 cm<sup>2</sup>, la misma tendencia se registra en el promedio de área radicular en genotipos a pH 4.7 con 293.45 cm<sup>2</sup> versus los genotipos sometidos a pH 5.8 con 364.61 cm<sup>2</sup>.



**Figura 18.** Valores de biomasa seca (g), área foliar y radicular (cm<sup>2</sup>) de genotipos de cacao en estudio.

Figura 18, valores de conductancia estomática son diferenciados entre ambos tratamientos resultando mayor en los genotipos sometidos a pH 5.8 con 244.52 mmol/m<sup>2</sup>s en comparación con los valores de 232.46 mmol/m<sup>2</sup>s en genotipos de cacao sometidos a acidez de suelo con pH de 4.7, mientras que valores de clorofila en genotipos con pH 5.8 son de 12.63 SPAD y en genotipos con pH 4.7 registran valores de 12.35 SPAD.

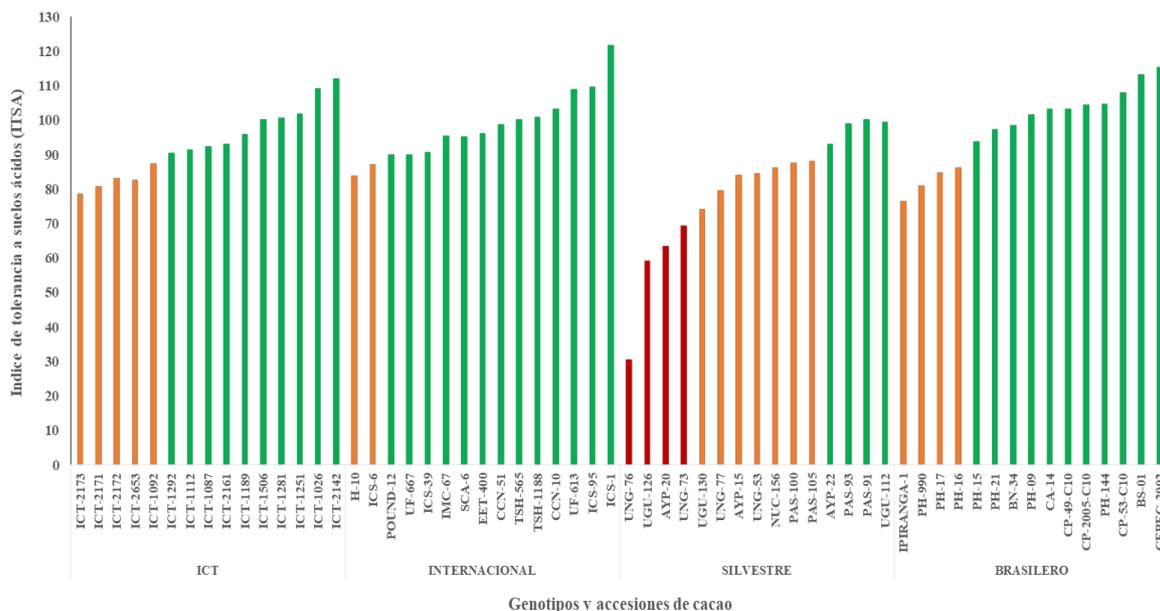


**Figura 19.** Valores de conductancia estomática (mmol/m<sup>2</sup>s) y clorofila (SPAD) en genotipos de cacao en estudio.

**Tabla 11.** Valores medios de genotipos de cacao en tolerancia a suelos ácidos.

| TRATAMIENTO  | Altura de planta (cm) | Diámetro tallo (mm) | Numero de ramas | Numero de hojas | Diam. Copa (cm) | Área foliar (cm <sup>2</sup> ) | Área radicular (cm <sup>2</sup> ) | Longitud raíz (cm) | Biomasa seca total (gr) | Cond. estomática (mmol/m <sup>2</sup> s) | Clorofila (SPAD) |
|--------------|-----------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------------|--|------------------|
| CON DOLOMITA | 50.74                 | 11.99               | 7               | 41.41           | 40.22           | 914.33                         | 364.61                            | 76.81              | 44.16                   | 243.16                                   | 12.63            |
| SIN DOLOMITA | 49.86                 | 11.4                | 6.61            | 38.02           | 40.02           | 885.09                         | 293.45                            | 67.81              | 40.53                   | 240.83                                   | 12.35            |
| Pv           | 0.318                 | 0.731               | 0.342           | 0.556           | 0.664           | 0.364                          | 0.014                             | 0.005              | 0.073                   | 0.874                                    | 0.359            |

Con respecto a la clasificación de clones de cacao tolerantes a acidez de suelos (figura 20), con valores de pH 4.7; el 60 % de genotipos y/o accesiones tolerantes que registraron un mayor valor en el índice de tolerancia a suelos ácidos (ITSA) porque reflejan mayor biomasa seca por su mejor actividad fisiológica en condiciones de acidez de suelo y saturación de aluminio, sobresalen: ICT-2142, BS-01, ICT-1026, CEPEC 2002, CCN-51, PAS-91, ICS-1, AYP-22, AYP-15, POUND-12, ICS-6, PAS 100, ICT-1092, ICT-2172 (columnas de color verde); los clones considerados sensibles a acidez de suelo son : AYP-20, UNG-73, UGU-126, UNG-76 (columnas de color rojo)



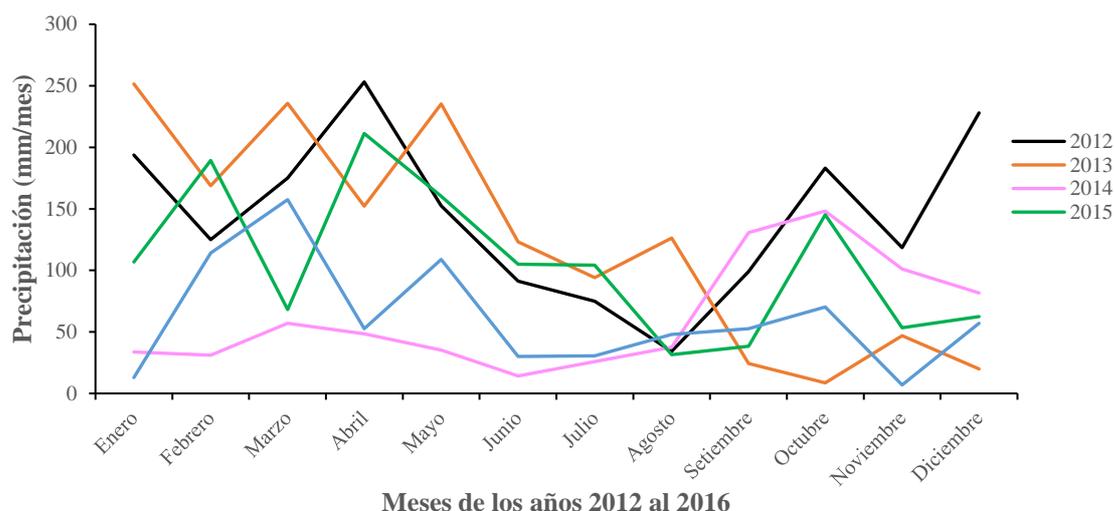
**Figura 20.** Índice de tolerancia de clones de cacao a la acidez de suelos.

En relación a la tolerancia a suelos ácidos las variables más importantes en los grupos contraste fueron: Biomasa seca total, contenido de clorofila, altura de planta, conductancia estomática, longitud de raíz.

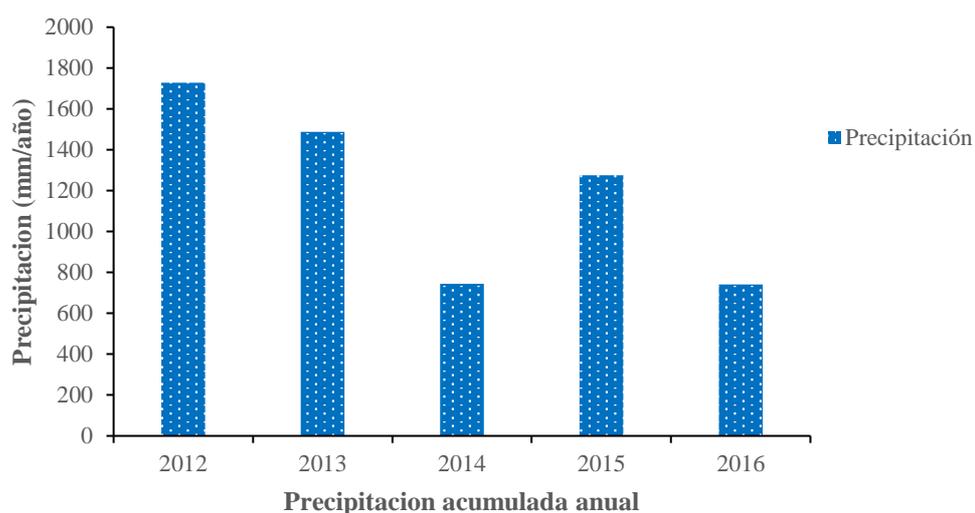
#### 4.4. Datos climatológicos de la E.E El Choclino

##### 4.4.1. Precipitación pluvial (mm/año)

Los datos climáticos fueron colectados por la estación meteorológica (Vantage Pro2-DAVIS) instalada en la E.E El Choclino, donde se registró (figura 26 y figura 27) la mínima precipitación acumulada anual en el año 2016 y 2014 con 741.0 mm y 744.90 mm respectivamente estos años fueron donde se presentaron un estiaje prolongado en el caso del año 2014 desde el mes de enero hasta agosto sin superar los 57 mm de lluvias y en el 2016 desde el mes de junio hasta noviembre sin poder superar los 71 mm de lluvias. Mientras los años con mayor precipitación pluvial fueron los años 2012 y 2013 con 1728.10 mm y 1486.90 mm respectivamente; siendo el mes de diciembre (227.90 mm) con mayor precipitación en el 2012 y el mes de enero (251.50 mm) en el 2013.



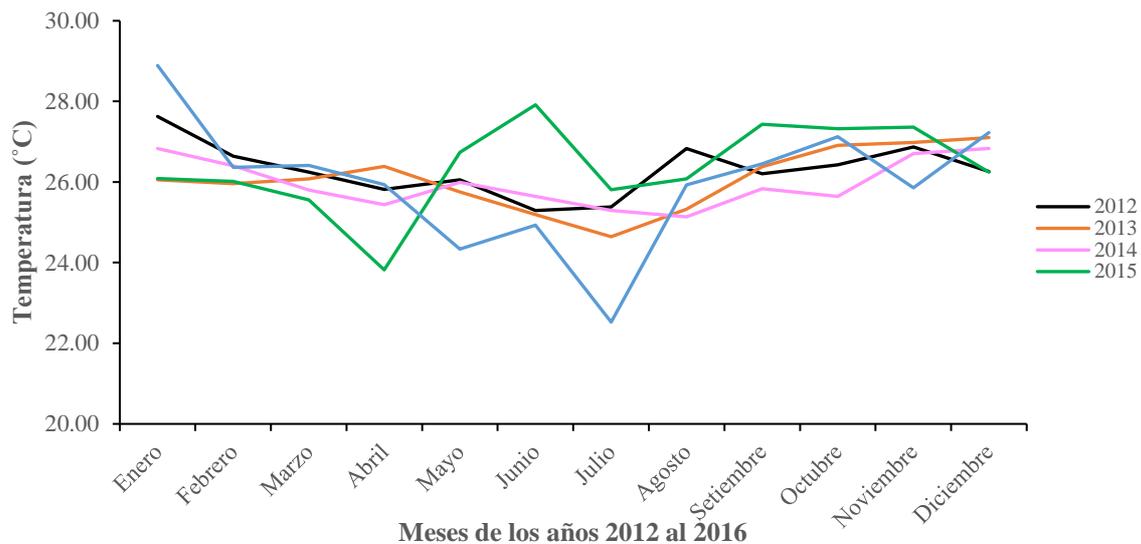
**Figura 21.** Precipitación mensual (mm) – anual E.E El Choclino- ICT



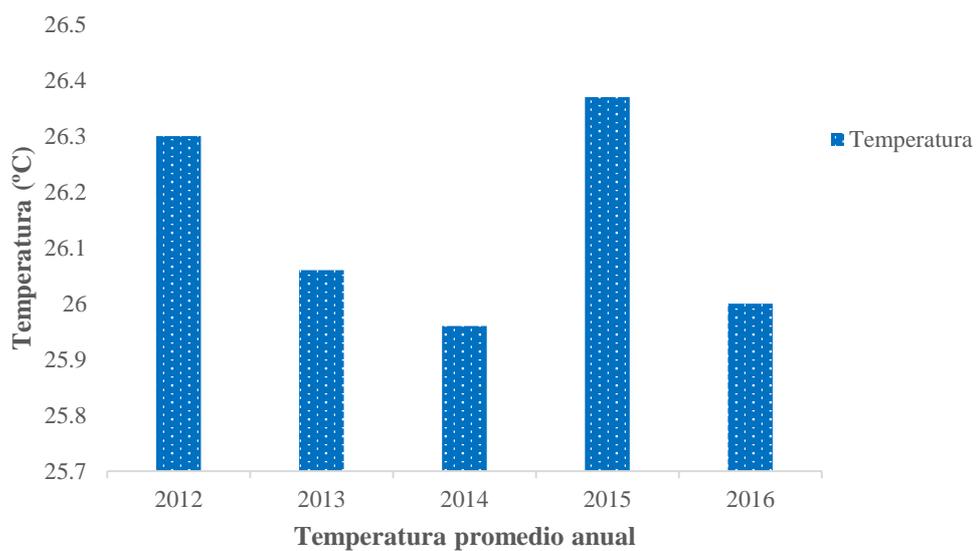
**Figura 22.** Precipitación acumulada (mm/año) anual E.E El Choclino– ICT

#### 4.4.2. Temperatura media anual

Respecto a los datos de temperatura (figura 28 y figura 29), no se registraron grandes diferencias o cambios en los años en evaluación, donde el año 2014 se registró la mínima temperatura media anual con 25.96 °C y el 2016 con 26.0 °C, del total de años evaluados el mes de julio del 2016 registro la temperatura promedio mensual más baja con 22.53 °C, esto se debe a que en estas épocas del año se registran los friajes en la selva peruana, y la temperatura promedio más alta se registró también en el 2016 el mes de enero con 28.89 °C.



**Figura 23.** Temperatura promedio mensual – anual E.E El Choclino- ICT

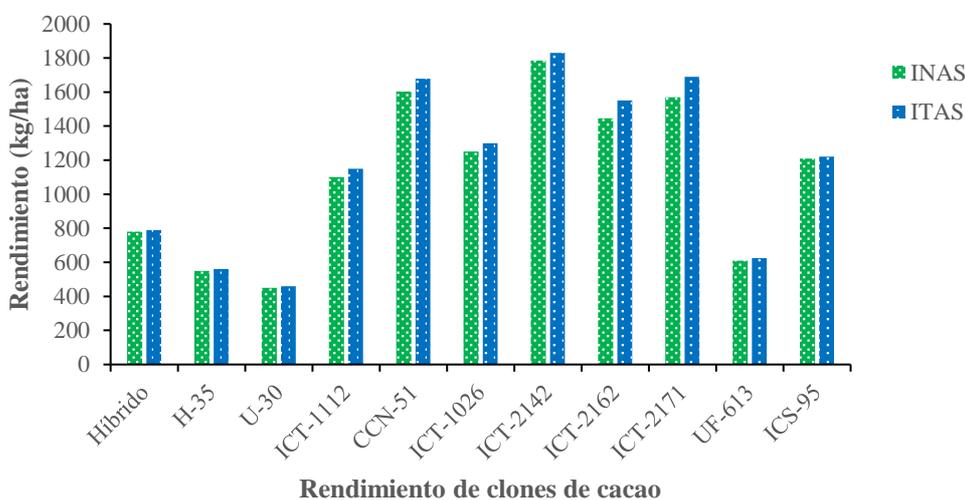


**Figura 24.** Temperatura promedio (°C) anual E.E El Choclino- ICT

#### 4.5. Producción de clones de cacao en estudio

La figura 25 representa la producción de los 11 clones en estudio durante 11 años de instalación en campo definitivo en los sistemas de manejo INAS e ITAS, los clones que registraron mayor producción fueron ICT-2142, ICT.2171 y CCN-51; 1 830 Kg/ha, 1 690 Kg/ha y 1 678 Kg/ha en el sistema de manejo ITAS, por otro lado los mismos genotipos ICT-2142, CCN-51 y ICT-2171 registran producciones en el sistema de manejo INAS de 1 780 Kg/ha, 1 603 Kg/ha y 1 570 Kg/ha respectivamente.

Los sistemas agroforestales nativos mejorados resultan de la integración de los componentes ecológicos del paisaje y las comunidades o poblaciones que actúan responsablemente en su conservación, garantizando a las futuras generaciones un ambiente estable y sostenible.



**Figura 25.** Productividad (Kg/ha) de los clones de cacao evaluados.

## V. CONCLUSIONES

1. La variabilidad de la textura del suelo en estos dos modelos de manejo de cacao y este periodo de años evaluados (2012, 2014 y 2016), no ha sido significativa, esto se debe a que la textura (propiedad física) en estos pocos años las labores de manejo no ejerce influencia directa en estas características físicas.
2. Los mejores rendimientos de cacao se registraron en el sistema ITAS, con los genotipos ICT-2142, ICT-2171 y CCN-51, con 1 830 Kg ha<sup>-1</sup>, 1 690 Kg ha<sup>-1</sup> y 1 678 Kg ha<sup>-1</sup> respectivamente; estos genotipos presentan los más altos rendimientos en el sistema de manejo INAS: ICT-2142 con 1 785 Kg ha<sup>-1</sup>, CCN-51 con 1 603 Kg ha<sup>-1</sup> y ICT-2171 CON 1 570 Kg ha<sup>-1</sup>.
3. El valor de pH más ácido se encuentra con 5.61 en el genotipo CCN-51, y el valor más alto en el genotipo ICT-2171 con 6.25, el rango de pH ideal para que el cacao se desarrolle fisiológicamente se encuentra de 5.5 a 6.5.
4. El porcentaje más bajo de materia orgánica se encuentra en el genotipo CCN-51 con 3 % y el de mayor porcentaje en el genotipo UF-613 con 4.04 % estos porcentajes de materia orgánica se encuentran en valores de medios a altos, esto se debe a la incorporación de hojarasca y su descomposición en materia orgánica propio de sistemas agroforestales y orgánicos, igual tendencia sigue el N en los mismos genotipos, para P disponible el valor mínimo 8.74 ppm en el genotipo U-30, mientras el valor máximo de 16.45 ppm en el genotipo CCN-51, para el caso de potasio disponible el valor mínimo de 82.50 ppm en el genotipo ICT-1026, y el máximo valor en el genotipo ICT-2142 con 118.22 ppm.
5. Los porcentajes de saturación de aluminio se encontraron porcentajes mínimos en el genotipo H-35 con 0.23 % y alcanzando el porcentaje mayor en el genotipo ICS-95 con 4.08 %, estos porcentajes no representan toxicidad de Aluminio para las plantas de cacao en estudio y está relacionado a los valores de pH en el suelo siendo estos moderadamente ácidos.
6. Para clasificar los clones de cacao como tolerantes, moderadamente tolerantes y sensibles a suelos ácidos, los valores de biomasa seca y conductancia estomática son los más trascendentes para esta clasificación.
7. El 60 % de los clones son considerados tolerantes a acidez del suelo (valores de pH 4.5 y 30 % de saturación de aluminio), los clones que más sobresalen: ICS-95, ICS-1, BS-01, CEPEC 2002, ICT-1026, ICT-2142, PAS-91, AYP-22, entre otros.

## VI. RECOMENDACIONES

El presente informe de experiencia laboral ha evaluado las diferencias químicas y físicas del recurso suelo en dos modelos de manejo o producción de cacao y en un periodo de 5 años, así también los indicadores biométricos y fisiológicos del cacao sometidos a estrés abiótico (acidez del suelo). Estos trabajos realizados en el instituto de cultivos tropicales (ICT) aportan base científica a futuros trabajos y a mayor escala, siendo el cacao el producto de bandera y el medio de sustento de muchas familias en la región San Martín describimos las siguientes recomendaciones.

1. Investigar el impacto del tipo de agricultura de los principales cultivos de la amazonia peruana, y cómo influyen en las diferentes características químicas y físicas del suelo, recurso natural importante que define la prosperidad o en su defecto el fracaso de las actividades agrícolas.
2. Hacer efecto multiplicador de los casos exitosos en el manejo sostenible, productivo, económico, social y ambiental de los sistemas de manejo de cacao y cultivos importantes de la región, con el fin de conservar atributos ecológicos con el menor impacto posible.
3. Identificar germoplasma de cacao tolerante y/o resistente a otros estreses abióticos en el caso de sequía, inundación, (consecuencias del cambio climático) niveles de luz, viento, etc.
4. Realizar capacitaciones frecuentes a los agricultores sobre el entendimiento y la importancia que tienen los sistemas de manejo de cacao y otros cultivos en el desarrollo de la región y la calidad de vida.

## VII. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Alegre, J. (2006). Secuestro de carbono en sistemas alternativos en el Perú. Sistemas agroforestales, tendencia da agricultura ecológica nos trópicos: sustento da vida. [Conferencia]. IV Congresso Brasileiro de sistemas agroflorestais.

Alianza Cacao Peru. (2019). Informe anual estado de la actividad cacaotera Peru. United States Agency for International Development (USAID). <http://www.alianzacacaoperu.org/>. Anderson, J.M., Ingram, J.S.I. (Eds.), 1993.pdf

Almeida, A.-A.F., & Valle, R.R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. *Braz. J. Plant Physiol.* 19:425–448.

Altieri, M., & Nicholls, C. (2004). Una base agroecológica para el diseño de sistemas diversificados en el trópico. *Manejo integrado de plagas y agroecología* 73: 8-20.

Altieri, M., & Nicholls, C. (2004). El potencial agroecológico de los sistemas agroforestales en América Latina. *Leisa- Revista de Agroecología.* 27: 32-35.

Arévalo, G.E. (2012). Informe GIZ: 14-17. Identificación de cacao criollo como producto nativo de la biodiversidad de San Martín y evaluación de su potencial regional.

Ariza, S., Navarro, C., & González, M. (2020). Cocoa Agroforestry Systems: Scenarios of biomass accumulation by perennial species across schemes This research activity has been carried out within the project Forecast Scenarios for Cocoa Agroforestry (CocoaAgroForecast) Funded by Mondelèz Global LLC and delivered by University of Córdoba and CAB International (CABI).

Baligar, V.C., Elson M.K., & Meinhardt, L.W. (2007). Cover crops useful for improving soil productivity under cacao. USDA-ARS Beltsville Agricultural Research Center, Beltsville. USA.

Banco Mundial. (2000). Perú. Informe Número 20700-PE. Environmental Issues and Strategic Options.

Barcelo J., & Poschenrieder C. (2002). Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: a review. *Environ Exp Bot* 48:75–92.

Bedoya G, E., Eduardo C, A., & Burneo, Z. (2017). Una agricultura insostenible y la crisis del barbecho: el caso de los agricultores del valle de los ríos Apurímac y Ene, VRAE – Perú.

Bhon, H., Neal, G, B., & O'Connor G, R. (1993). *Química del suelo*. Limusa, S.A. México. 370p.

Binkley, D., & Fisher, R. F. (2013). *The ecology and management of forest soils*. Wiley- Blackwell, UK. pp 99-117.

Blanchart, E., Villanueva, C., Viallatoux, A., Barthes, B., Giradin, C., Azontonde, A., & Feller, C. (2006). Long-term effect of a legume cover crops (*Mucuna pruriens* var. utilis) on the communities of soil macrofauna and nematofauna, under maize cultivation, in southern in Benin. *European journal of soil biology* 42:136-144.

Brady, N. & R. Weil. (1999). *The nature and properties of soil*. (12th ed). Pentice Hall, New Jersey. USA.

Beer, J., Harvey, C., Ibrahim, M., Harmand, J., Somarriba, E., & Jimenez, F. (2003). Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en la Américas*. 10 (37-38): 80-87.

Bunch, R. (2008). El manejo del suelo vivo. *Suelos vivos*. LEISA revista de agroecología 24 (2).

Cassel, K. (06 al 10 de noviembre de 2006). *Applied soil physics for agricultural soil management*. Memorias del X congreso nacional y III Internacional de la ciencia del suelo 2006, Lima-Perú.

Casierra-Posada, F. (2001). Fundamentos fisiológicos, bioquímicos y anatómicos del estrés por aluminio en vegetales. *Revista Comalfi* 28(2), 8-19.

Casierra-Posada, F., & Cárdenas-Hernández, J.F. (2007). Influencia del aluminio sobre el crecimiento de la raíz en coliflor (*Brassica oleracea* L., var. *Botrytis*, Hib. 'Nevada F1'). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica* 10(1), 149-157.

Casierra-Posada F., & Niño-Medina, R.C. (2007). Solubilidad y reacción del aluminio en el suelo. *Ciencia y Agricultura*; 5(2): 7-17.

Clark, M.S., Horwath, W.R., Shennan, C.; & Scow, K.M. (1998). Change in soil chemical properties resulting from organic and low-input farming practices. *Agronomy Journal* 90: 662-671.

De Souza, P.A., Moreira, L.F., Sarmiento, D.H.A., y Da Costa, F.B. (2018). *Cacao-Theobroma. Exotic Fruits*. Elsevier, pp. 69–76 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00010>

Dominguez, J.A., & De la Cruz, R. (1994). Competencia de pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K.). CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Esu, I. E. (1999). *Fundamentals of Pedology*. Stirling- Horden Publishers (Nig.) Ltd. Benin City, Edo State, Nigeria.

Fanor Casierra-Posada., & Cárdenas–Hernández. (2007). Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*. pp. 246-257, 2007.

Rodriguez, A.F. (1995). Documento técnico N° 14. El recurso del suelo en la amazonia peruana, diagnóstico para su investigación. (Segunda aproximación). Iquitos – Perú.

Flores, P.S. (1998). Agroforesteria amazónica: Una alternativa a la agricultura migratoria. Capítulo 10. En *Geoecología y desarrollo amazónico*. Estudio integrado en la zona de Iquitos, Perú.

Gallardo, A.F., Pino, B.M., Alvear, Z.M., & Borie, B.F. (2005). Efecto del aluminio en la producción de materia seca y en la actividad nitrato reductasa de dos variedades de trigo, creciendo en soluciones nutritivas. *R C Suelo Nutr Veg*. 5 (1): 30-36.

Gill, S.S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant and biochemistry* 48 (12): 909-930.

Gliessman, S.R. (2002). *Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sustentable*. Impresión LITOCAT, Turrialba. Costa Rica, 359 p.

Grisel, N., Zoller, S., Kunzli-Gontarczyk, M., Lampart, T., Munsterkotter, M., Brunner, I., Bovet, L., Metraux, J.P., & Sperisen, C. (2010). Transcriptome responses to aluminum stress in roots of aspen (*Populus tremula*). *Plant Biol* 10:185.

Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, IPCC. (2014). Resumen para responsables de políticas Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Suiza 2014.

Hernández, C.L., Ramos, J., Rodríguez, M.P., & López-Hernández, D. (2004). Resumen Congreso Latinoamericano de la ciencia del suelo. Cartagena de Indias, Colombia. Efectos de enmiendas orgánicas y químicas sobre algunos parámetros bioquímicos y la estructura gremial de comunidades bacterianas en el suelo bajo manejo agrícola. pp 152.

Instituto Nacional de Investigación de la Amazonia Peruana, IIAP. (1995). El recurso del Suelo en la Amazonía Peruana, Diagnóstico para su Investigación. Iquitos.

Instituto geográfico Agustín Codazzi, IGAC. (2005). Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Boyacá. Subdirección Agrológica - UPTC. Bogotá. Imprenta Nacional de Colombia. pp 252.

Inostroza-Blancheteau, C., Rengel, Z., Alberdi, M., Mora, M.L., Aquea, F., Arce-Johnson, P., & Reyes-Díaz, M. (2012). Molecular and physiological strategies to increase aluminum resistance in plants. *Mol Biol Rep* 39:2069–2079.

Kochian, L. (1995). Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. *Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology*. 46: 237-260.

Kochian, L.V., Hoekenga, O.A., & Pineros, M.A. (2004). How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Annual Rev Plant Biol* 55:459–493.

Kasai, M., Sasaki, M., Yamamoto, Y., & Matsumoto H. (1992). Al increases K<sup>+</sup> efflux and activities of ATP-dependent and PPi-dependent H<sup>+</sup> pumps of tonoplast-enriched vesicles from barley roots. *Plant Cell Physiol* 33:1035–1039.

Kalliola, R., & Flores Paitán, S. (1998). Geoecología y desarrollo amazónico: Estudio integrado en la zona de Iquitos, Perú. *Ser A 11114*:417- 440.

Kirby, M., & Powlson, D. (2004). Introduction: Linkages and research priorities. *Agriculture, ecosystems and environment* 104: 245-247.

Koyama, H., Toda, T., & Hara, T. (2001). Brief exposure to low-pH stress causes irreversible damage to the growing root in *Arabidopsis thaliana*: pectin-Ca interaction may play an important role in proton rhizotoxicity. *J Exp Bot* 52:361–368.

Labrador, M.J. (2001). *La materia orgánica en los agroecosistemas*. (2.ª ed.). Mundi-Prensa, Madrid. España.

Levitt, J. (1980). *Responses of plants to environmental stresses. Volume II. Water, radiation, salt, and other stresses*. Academic Press.

Lidon, F.C., Barreiro, M.G., Ramalho, J.D.C., & Lauriano, J.A. (1999). Effects of aluminum toxicity on nutrient accumulation in maize shoots: implications on photosynthesis. *J Plant Nutr* 22:397–416.

Mage, S.M., & Porder, S., (2013). Parent material and topography determine soil phosphorus status in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. *Ecosystems*, 16: 284-294.

Marschner, H. (1991). Mechanisms of adaptation of plants to acid soil. *Plant and Soil* 134: 1-20.

Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher soil*. (2.ª ed). Academic Press, London, Great Britain, pp 889.

Mata, A., Rivero, H., & Segovia, M. (2017). *Sistemas agroforestales con cultivo de cacao fino de aroma: entorno socio-económico y productivo*. Vol. 6 (1):103-115.

Matsumoto, H. (2000). Cell biology of aluminium toxicity and tolerance in higher plants. *International Review Cytology* 200: 1-46.

Medina, M.J., Volke, H., Gonzales, R.J., Galvis, S.A., Santiago, C.M., & Cortes, F.J. (2006). Changes in time in the physical properties of the soil in rain-fed maize and irrigated mango systems in livisols in the state of Campeche. Universidad Autónoma del estado de Mexico. 174-189 pp.

Ministerio de Agricultura y Riego del Peru. MINAGRI. (2018). Producción de cacao se duplicará al 2021.

Mora, M.L., Alfaro, M., Williams, P.H, Stehr, W., & Demanet, R. (2004). Effect of fertilizer input on soil acidification in relation to growth and chemical composition of a pasture and animal production. *J Soil Sci Plant Nutr.* 4:29–40.

Mora, M.L., Demanet, R., Vistoso, E. & Gallardo, F. (2005). Influence of sulfate concentration in mineral solution on ryegrass grown at different pH and aluminium levels. *J Plant Nutr* 28:1–16.

McGrath, D.A., Duryea, M.L., & Cropper, W.P. (2001). Soil phosphorous availability and fine root proliferation in Amazonian agroforestry 6 years following forest conversion agriculture, ecosystem and environment 83: 271-284.

Navarro, P., Mendoza, A., Martínez, M., Camacho, O., Sácida, R., Godoy, G., & Rocha, V. (2006). Cultivo del Cacao en Sistemas Agroforestales. Guía técnica para promotores. Programa para el Desarrollo Rural Sostenible en el Municipio El Castillo, Río San Juan, Nicaragua.

Niether, W., Schneidewind, U., Fuchs, M., Schneider, M., y Armengot, L. (2019). Below-and aboveground production in cocoa monocultures and agroforestry systems. *Sci.TotalEnviron.* 657, 558-567. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018>.

Nichol, B., L. Oliveira, A. Glass & M. Siddiqui. (1993). The effects of aluminum on the influx of calcium, potassium, ammonium, nitrate, and phosphate in an aluminum- sensitive cultivar of barley (*Hordeum vulgare* L). *Plant Physiology* 101: 1263- 1266.

Organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura, FAO. (2016). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. FAO/Publications. Roma.

Osawa, H., Endo, I., Hara, Y., Matsushima, Y., & Tange, T. (2011). Transient proliferation of proanthocyanidin-accumulating cells on the epidermal apex contributes to highly aluminum resistant root elongation in camphor tree. *Plant Physiol* 155:433–446.

Pellet, D.M., Grunes, D.L., Kochian, L.V. (1995). Organic acid exudation as an aluminum tolerance mechanism in maize (*Zea mays* L.). *Planta* 196:788–795.

Pereira, M., Maycotte, M., Restrepo, B., Mauro, F., Calle, M., & Esther, M. (2011). Edafología. Caldas, Colombia.

Porras, V.C. (2006). Efecto de los sistemas agroforestales de café orgánico y convencional sobre las características de suelos en el corredor biológico Turrialba- Jimenez, Costa Rica.

Quintino, A., Ahnert, D., Loureiro, G., Faria, J., Fernandes, C., Baligar, V.C. (2018). Soil quality index for cacao cropping systems. Ilhéus, Bahia, Brazil.

Radic, S. (2001). Estudio de la tolerancia a la toxicidad por Al de cuatro ecotipos de bromo *Bromus valdivianus* Phil [Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Austral de Chile].

Rengel, Z. (1996). Uptake of aluminium by plant cells. *New Phytol* 134:389–406.

Rengel, Z., & Robinson D.L. (1989). Comparative Al<sup>3+</sup> inhibition of net Mg<sup>2+</sup> uptake by intact *Lolium multiflorum* roots. I. kinetics. *Plant Physiology* 9 (4): 1407 – 1413.

Ricse, A. (2003). Silvicultura de reforestación en la región amazónica, costos y beneficios de plantaciones en campo abierto. INIA. Pucallpa-Perú.

Roca, N., Pasos, M.S., & Bech, J. (2007). Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del nor oeste argentino. *Revista Ciencia del Suelo (Argentina)* 25:31.

Rodriguez. J. (1993). Manual de fertilización. Pontificia Universidad Católica de Chile. Departamento de ciencias vegetales. Facultad de Agronomía. Santiago. Chile.

Rojas, B.N., Barboza, C.E., Maicelo, Q.J., Oliva, C.S., & Salas, L.R. (2019). Deforestación en la Amazonía peruana: Índices de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 81, 2538, 1–34.

Sadzawka, A., & Campillo, R. (1993). Problemática de la acidez de los suelos de la IX región. Génesis y características del proceso. *Investigación y progreso agropecuario* 12(3): 3-8.

Sánchez, J. (2007). Fertilidad de suelos y nutrición mineral de las plantas. Universidad del Nordeste. Corrientes, Argentina. pp 1-19.

Sivaguru, M., Matsumoto, H., Horst, W. (2000). Control of the response to aluminum stress. En: Nick, P. *Plant microtubules: Potential for microbiology*. Springer, Heidelberg. pp. 103-120.

Scott, B.J., Fisher, J.A., & Cullis, B.R. (2001). Aluminum tolerance and lime increase wheat yield on the acidic soils of central and southern New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41, 523–532.

Suárez, D. (1992). Antecedentes técnicos y económicos para el manejo de los suelos ácidos del país, elección de fertilizantes y enmiendas. *Panorama Económico de la Agricultura* 81: 19-23.

Szott, L.T., & Palm, C.A. (1996). Nutrient stocks in managed and natural humid tropical fallows. *Plant and soil* 186: 293-309.

Tambussi, E.A. (2004). Fotosíntesis, fotoprotección, productividad y estrés abiótico. Algunos casos de estudio. [Tesis doctoral. Universidad de Barcelona, España].

Tahara, K., Yamanoshita, T., Norisada, M., Hasegawa, I., Kashima, H., Sasaki, S., & Kojima, K. (2008). Aluminum distribution and reactive oxygen species accumulation in root tips of two *Melaleuca* trees differing in aluminum resistance. *Plant Soil* 307:167–178.

Tamas, L., Huttová, J., Mistrík, I., & Simonovicová, B. (2006). Aluminium-induced drought and oxidative stress in barley roots. *J Plant Physiol* 163:781–784.

Taylor, G.J., Basu, A., Basu, U., Slaski, J.J., Zhang, G., & Good, A. (1997). Al-induced kilodalton membrane-bound proteins are associated with resistance to Al in a segregating population of wheat. *Plant Physiol* 114:363–372.

Taylor, G. (1988). The physiology of Al tolerance metal ions. *Biological systems E.EU.U.* 165-198.

Universidad del Pacífico, Centro de investigación (CIUP). PNUMA. (2009). *Perspectivas del medio ambiente en la Amazonía.*

USDA and NRCS, United State Dept of Agriculture and Natural Resources Conservation Service. (2001). *Report Soil Survey of East and West Feliciana Parishes, Louisiana. National Cooperative Soil Survey.* pp: 74-76.

Villacorta, M.E. (2007). *Plan de negocios 2007-2012. SIAMAZONIA. Instituto de investigación de la amazonia peruana-IIAP.*

Von Uexküll, H., & Mutert, E. (1995). Global extent, development and economic impact of acids soil. *Plant Soil* 171(1): 1 – 15.

Watanabe, T., & Osaki, M. (2002). Mechanisms of adaptations to high aluminum conditions in native plant species growing in acid soil: a review. *Commun Soil Sci Plant Anal* 33:1247–1260.

White, D., Velarde, S.J., Alegre, J.C., Tomich, T.P. (2005). *Alternatives to Slash-and-Burn (ASB) in Peru, Summary Report and Synthesis of Phase II. Alternatives to Slash-and-Burn Programme, Nairobi, Kenya.*

White, R.E. (2013). *Principles and Practice of Soil Science: The soil as a natural resource.* John Wiley & Sons.

Yamamoto, Y., Masamoto, K., Rikiishis, S., Nachiya, A., Yamaguchi, Y., & Matsumoto, H. (1996). Aluminum tolerance acquired during phosphate starvation. *Cultured Tobacco Cells. Plant Physiology.* 112: 217-227.

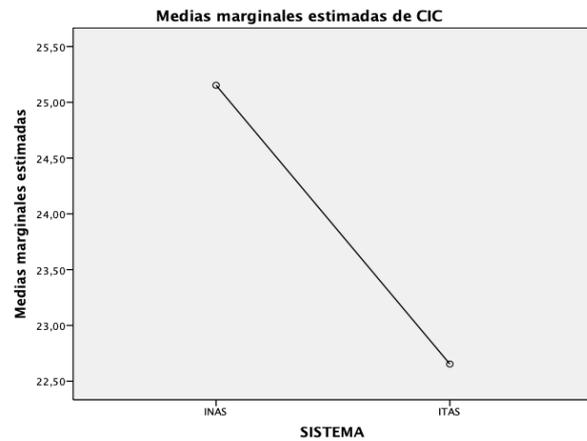
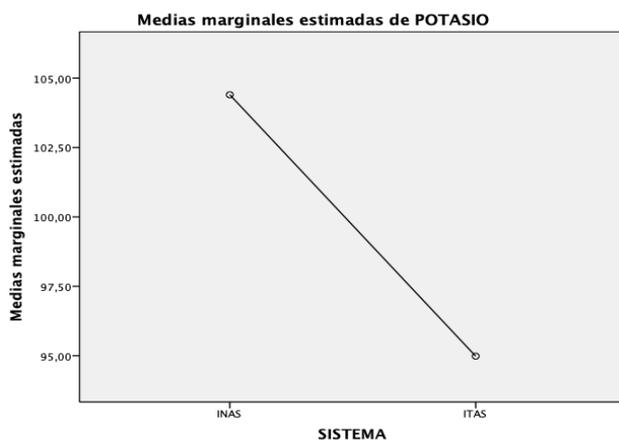
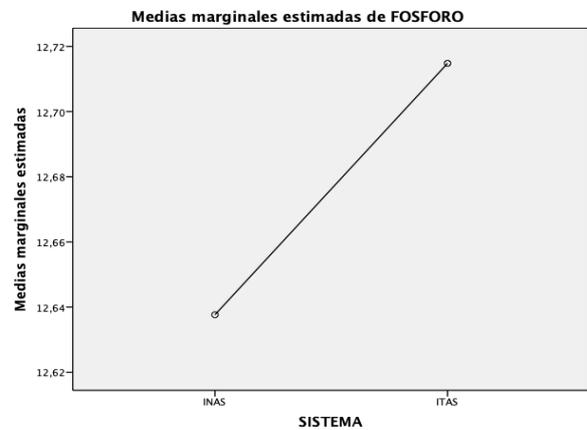
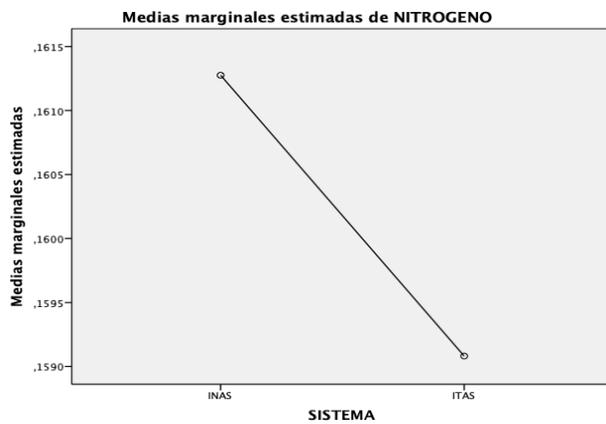
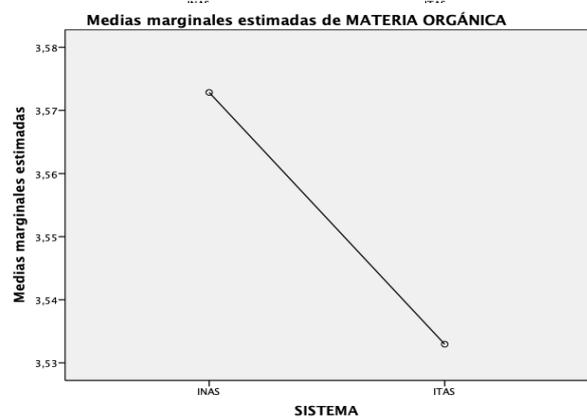
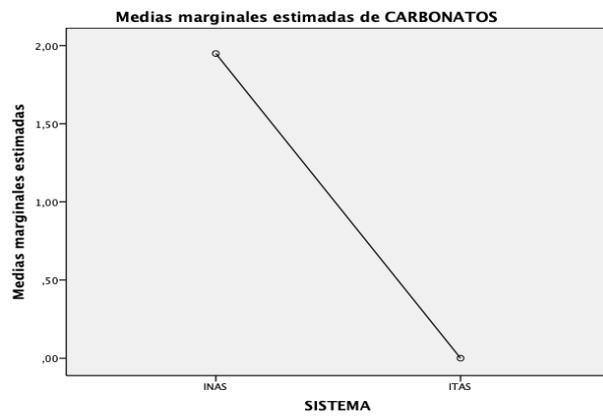
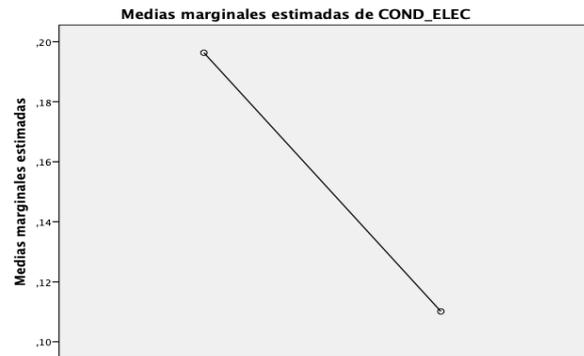
Yamamoto, Y., Kobayashi, Y., Matsumoto, H. (2001). Lipid peroxidation is an early symptom triggered by aluminium, but not the primary cause of elongation inhibition in pea roots. *Plant Physiol* 125:199–208.

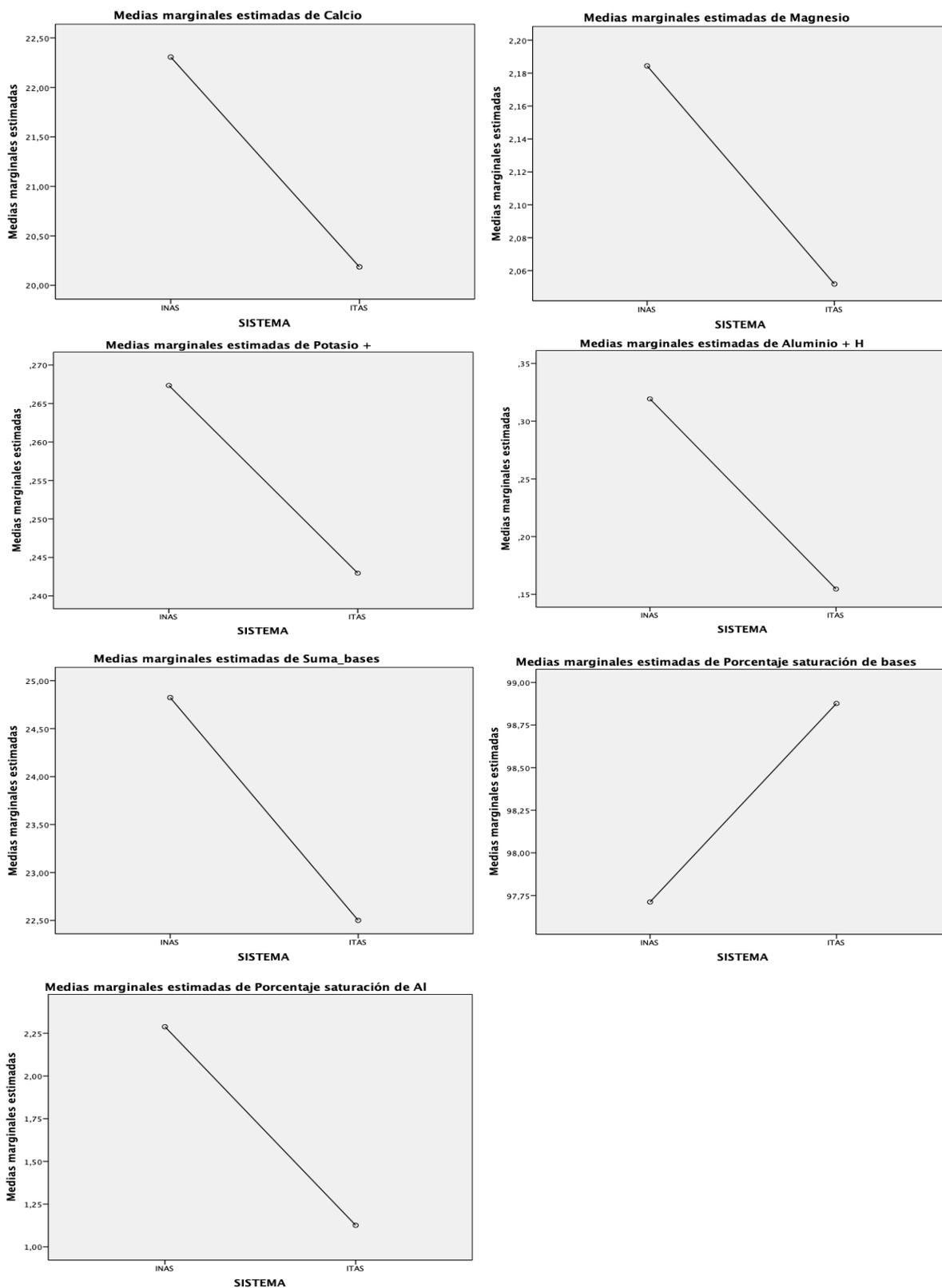
Zapata, H.R.D. (2004). La química de la acidez del suelo. Disponible <http://www.unalmed.edu.co/%7Erdzapata/AcidezdelSuelo.zip>.

Zug, K.L.M., Huamaní Yupanqui, H.A., Meyberg, F., Cierjacks, J.S., & Cierjacks, A. (2019). Cadmium accumulation in Peruvian cacao (*Theobroma cacao* L.) and opportunities for mitigation. *Water, Air, & Soil Pollution* 230.

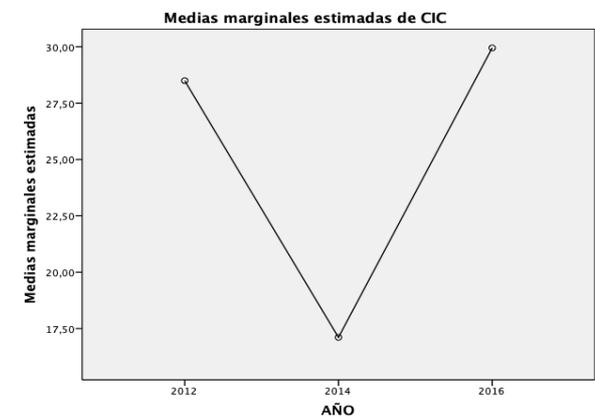
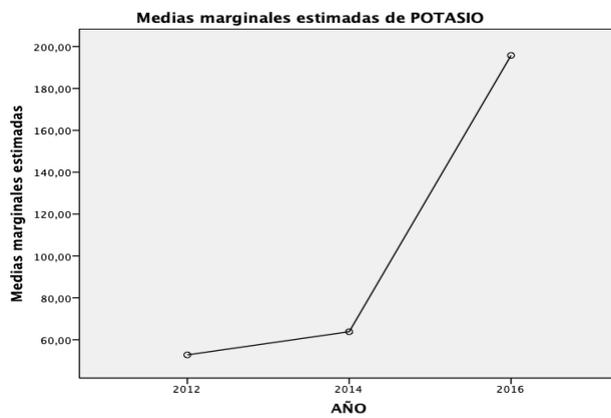
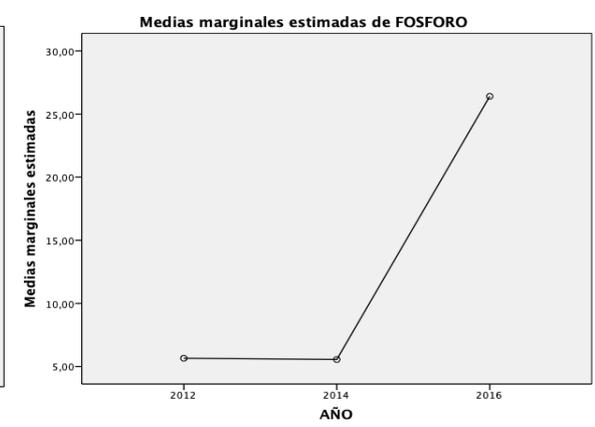
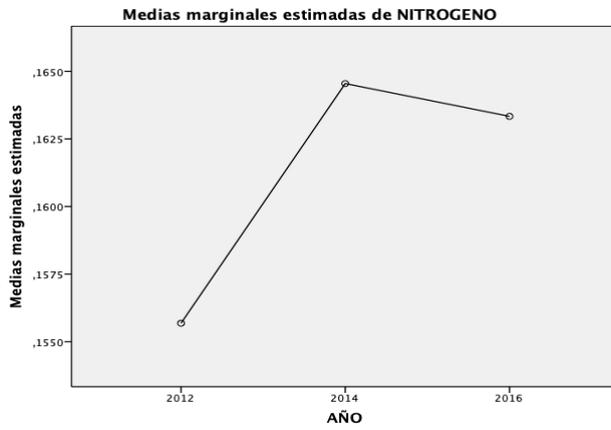
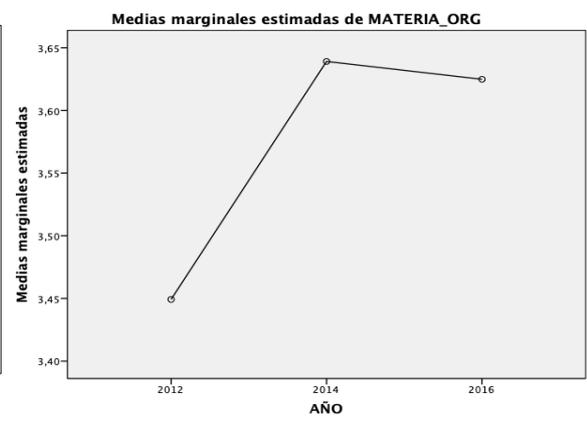
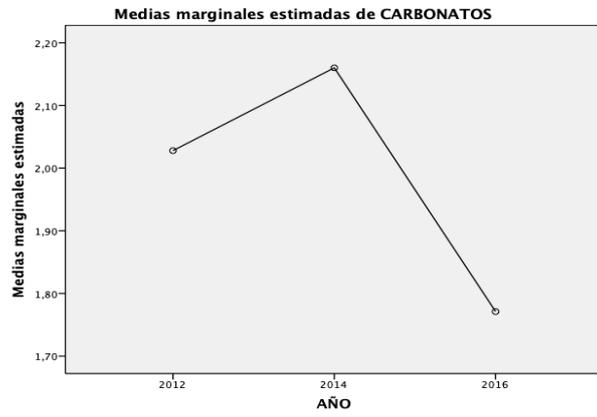
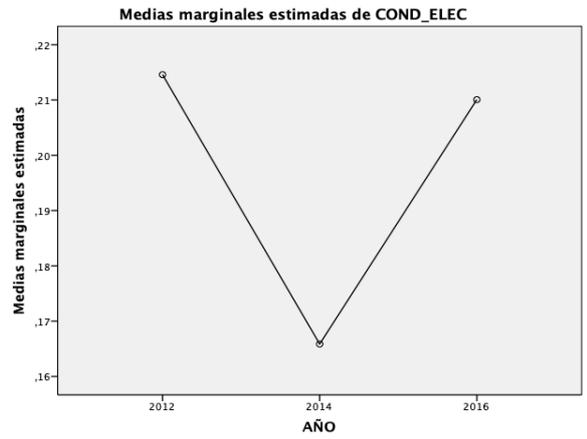
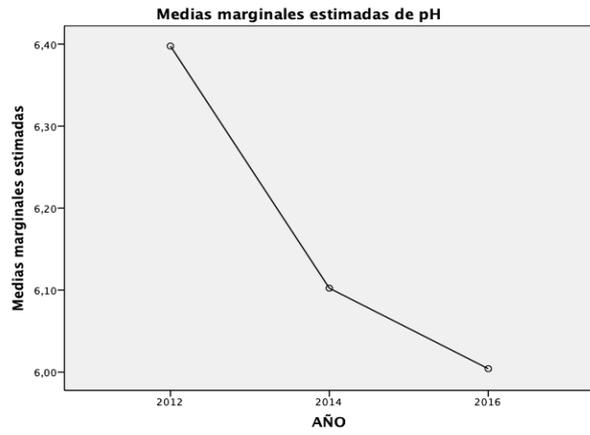
## VIII. ANEXOS

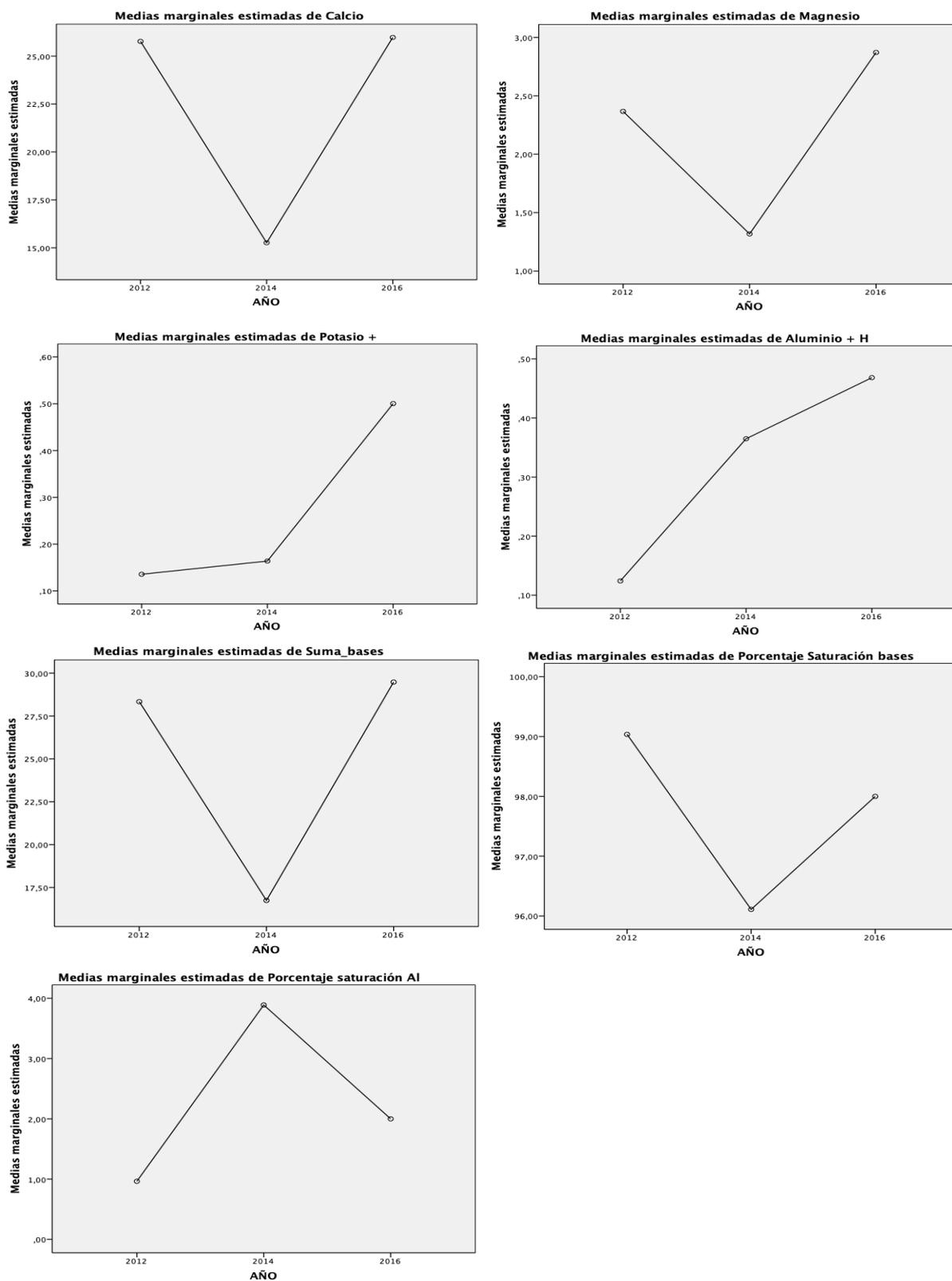
### 1. Medias marginales de propiedades químicas



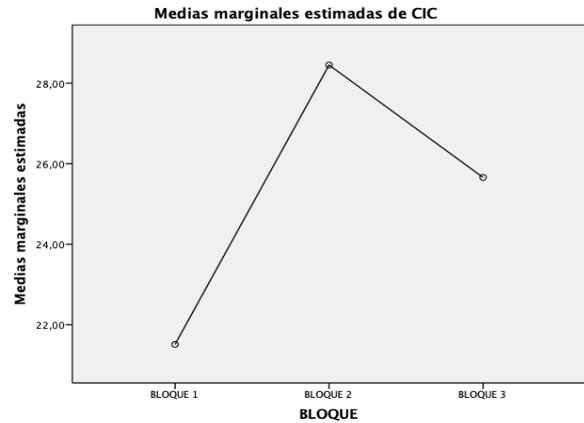
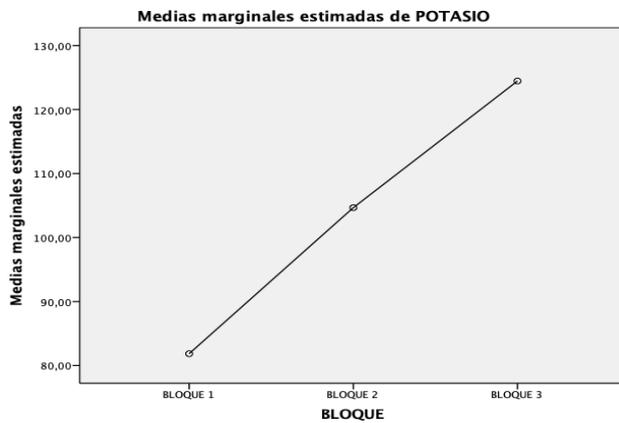
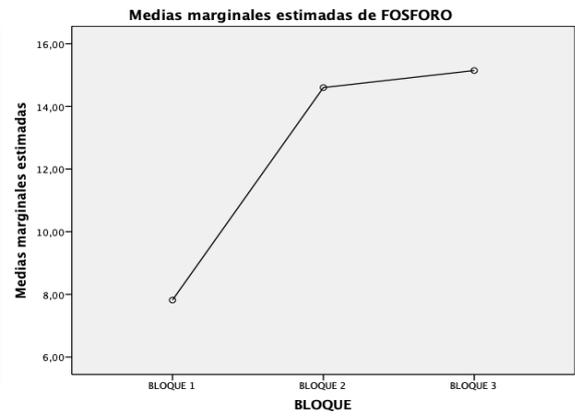
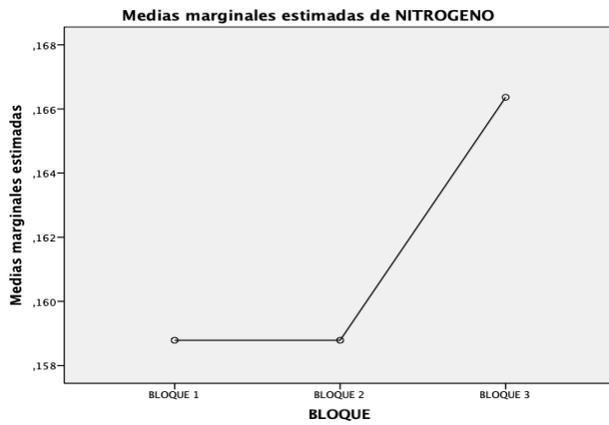
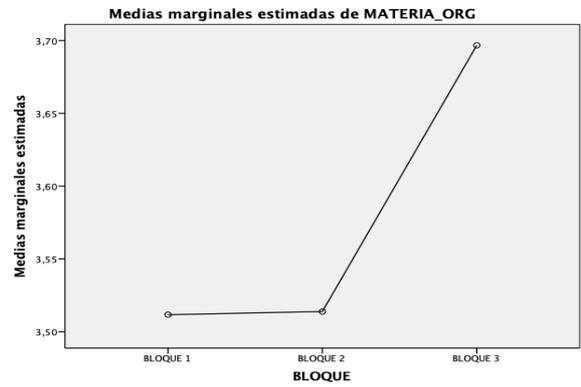
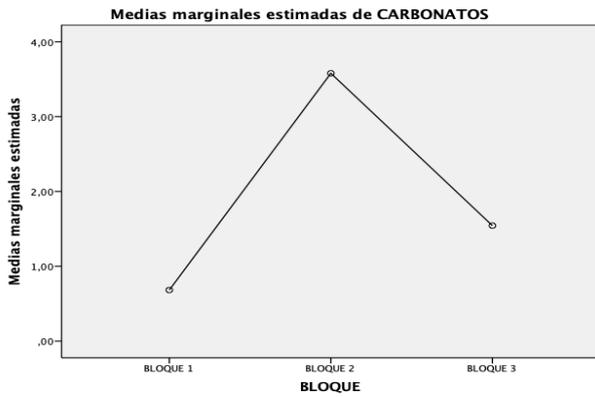
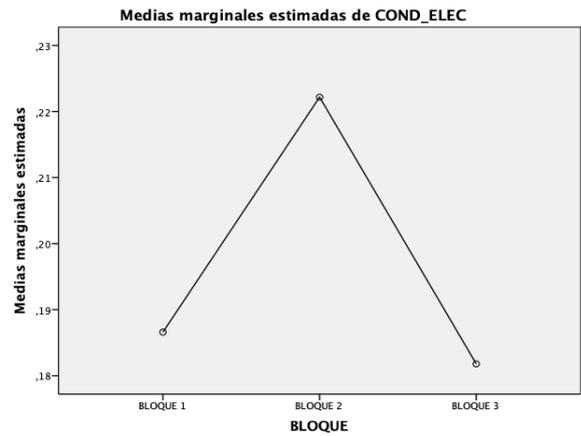
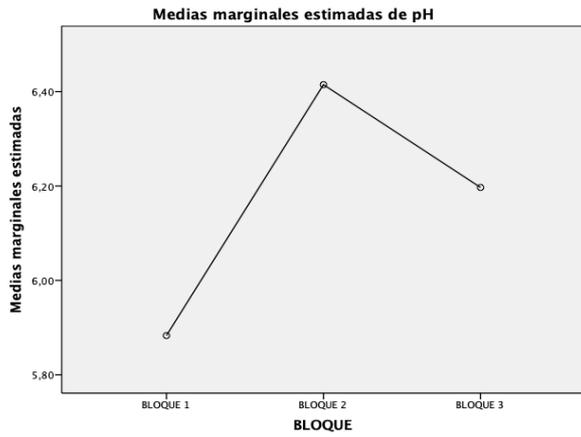


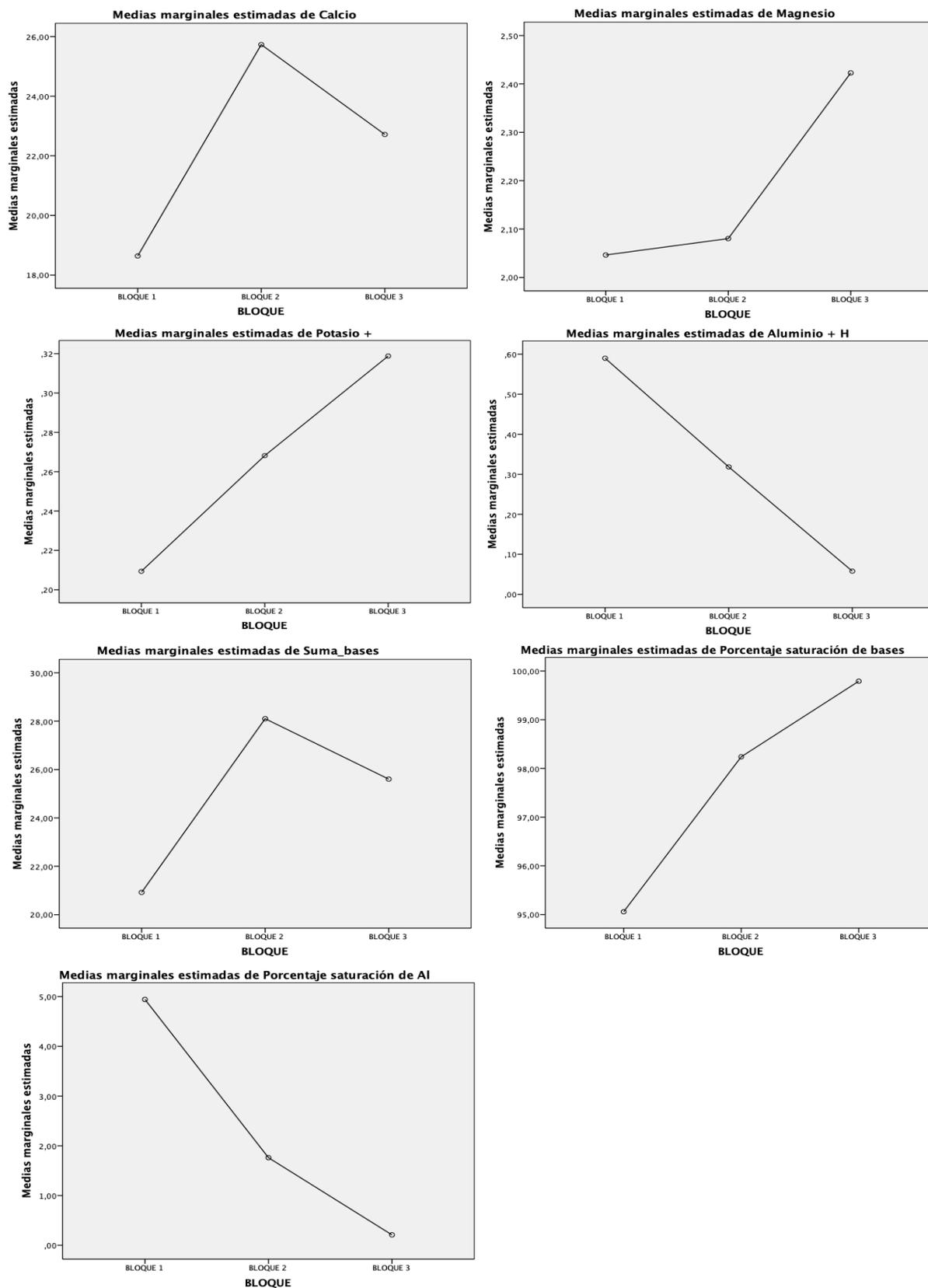
**Figura 26.** Características químicas del suelo en los modelos de producción INAS e ITAS.



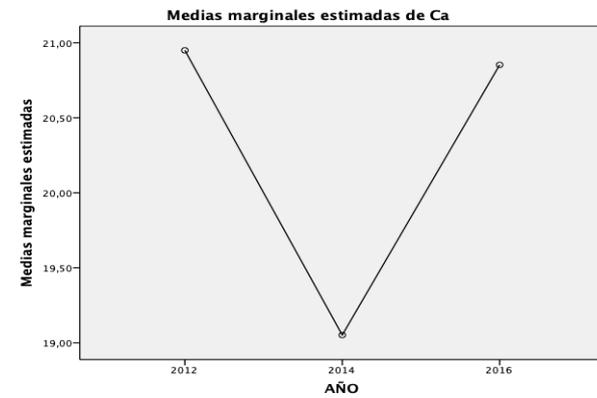
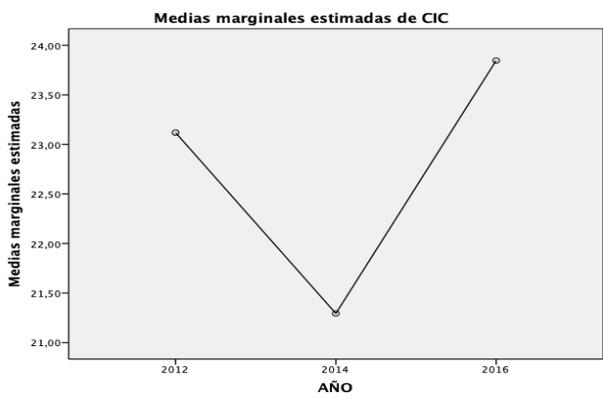
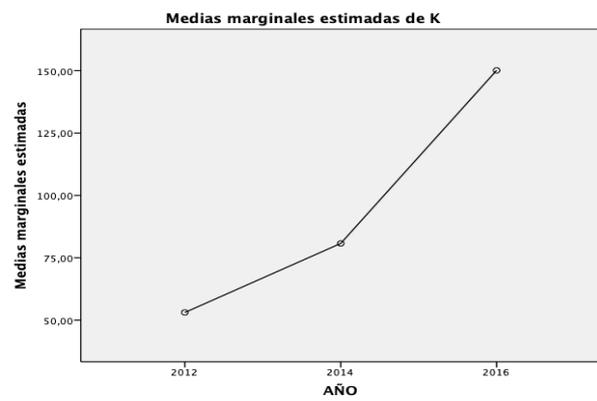
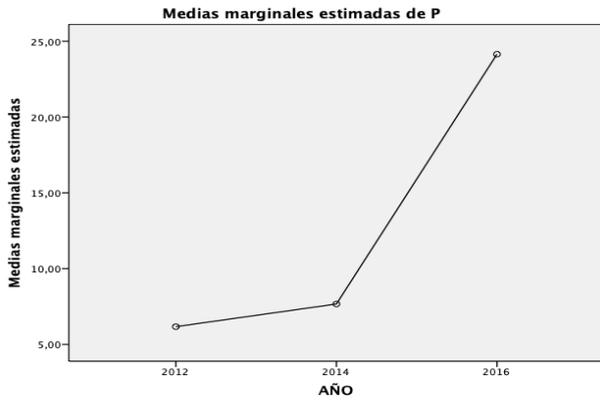
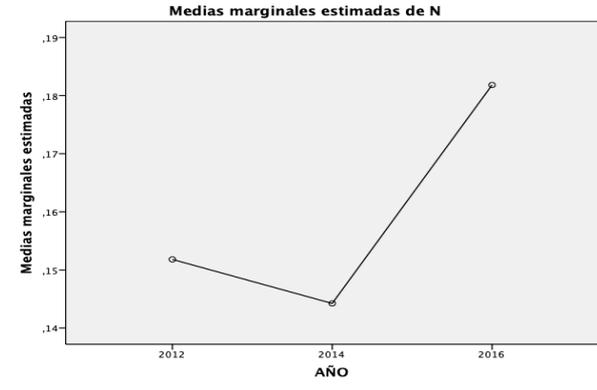
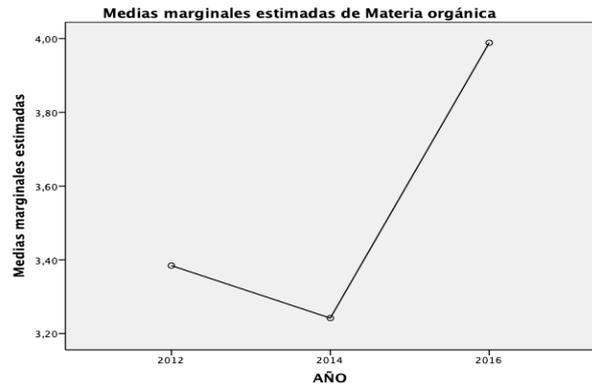
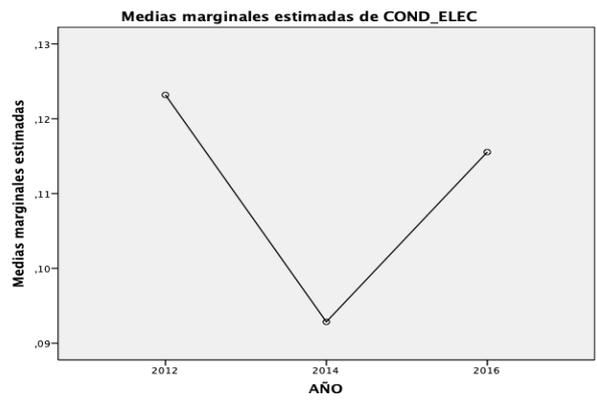
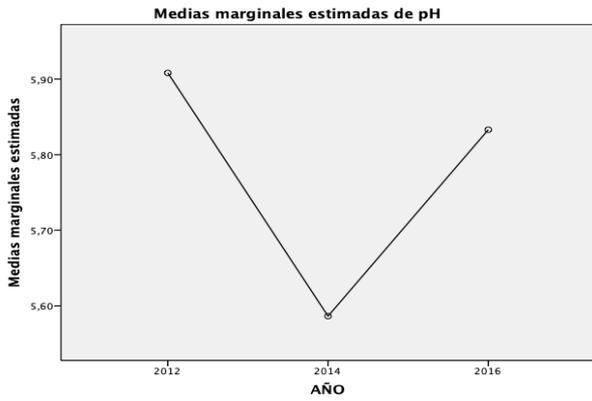


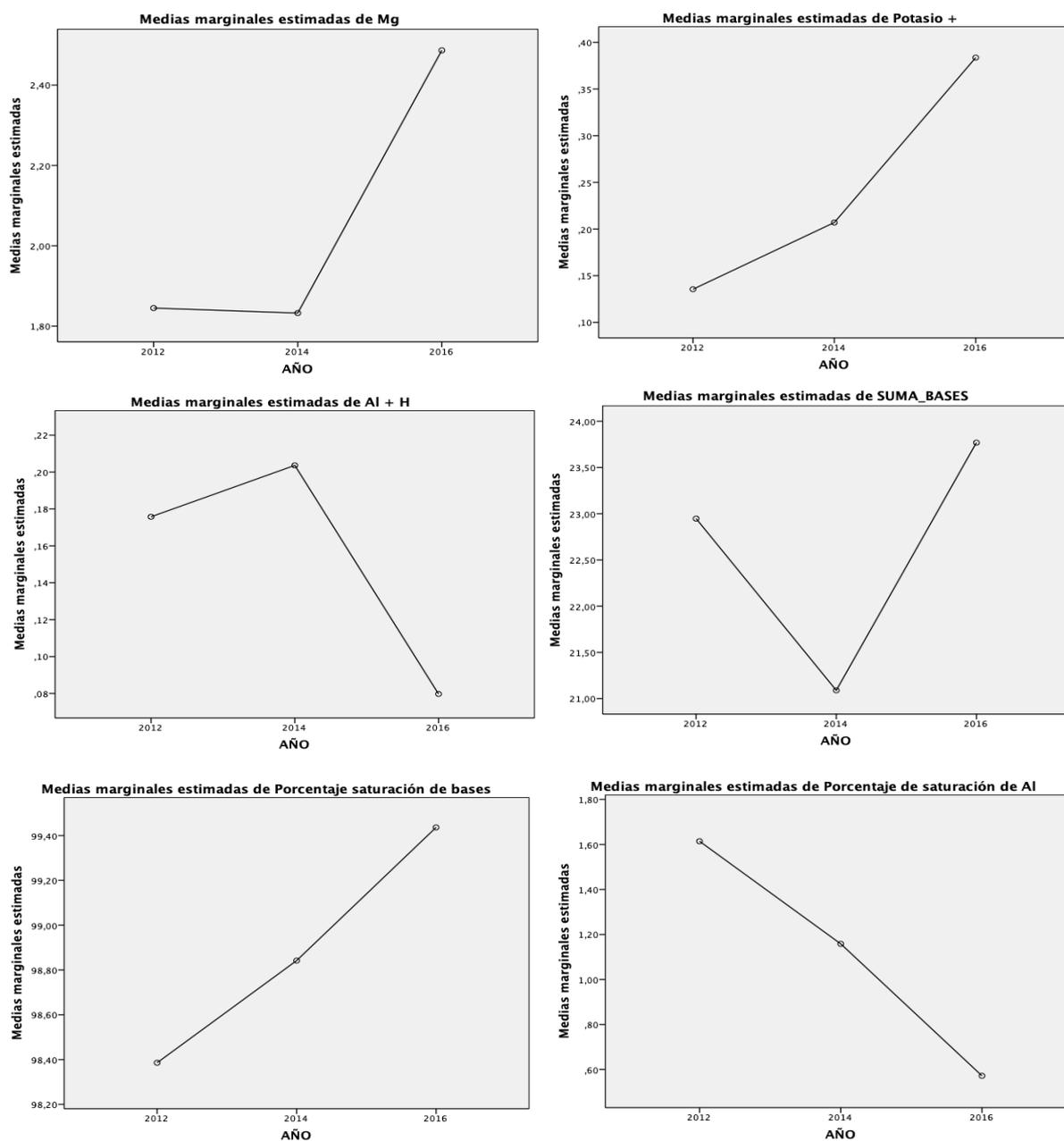
**Figura 27.** Características químicas del suelo en años del modelo de producción INAS.



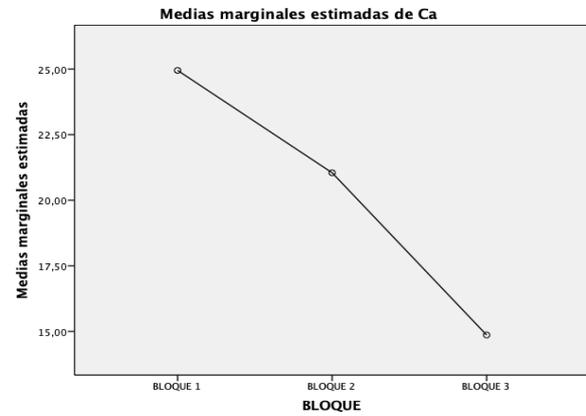
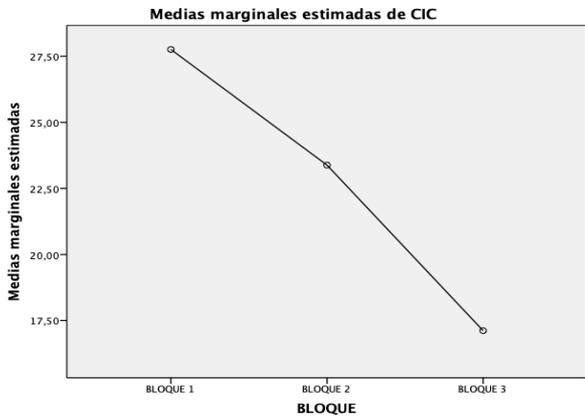
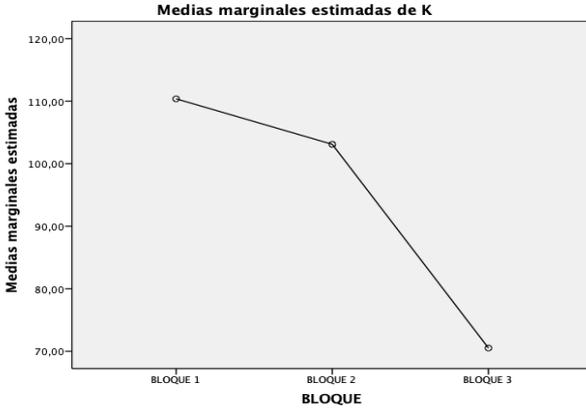
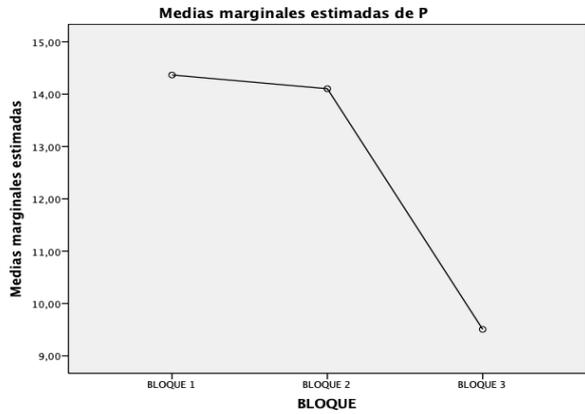
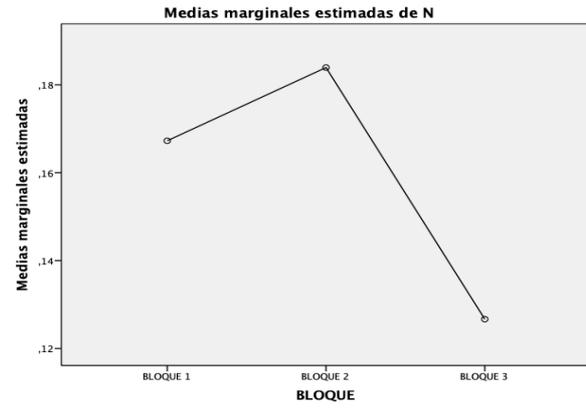
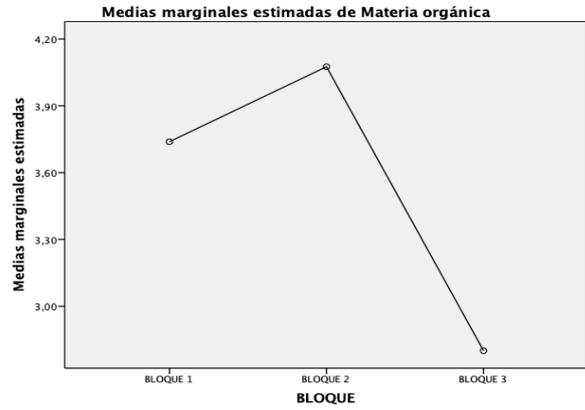
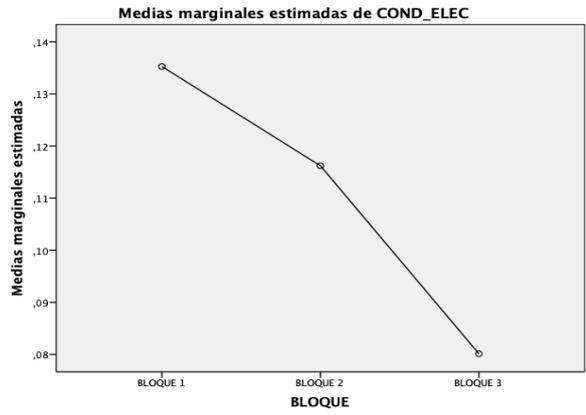
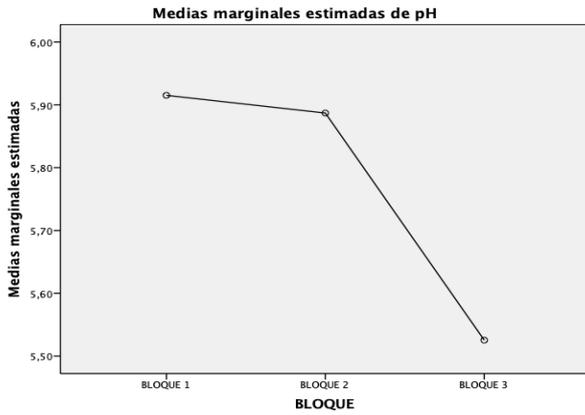


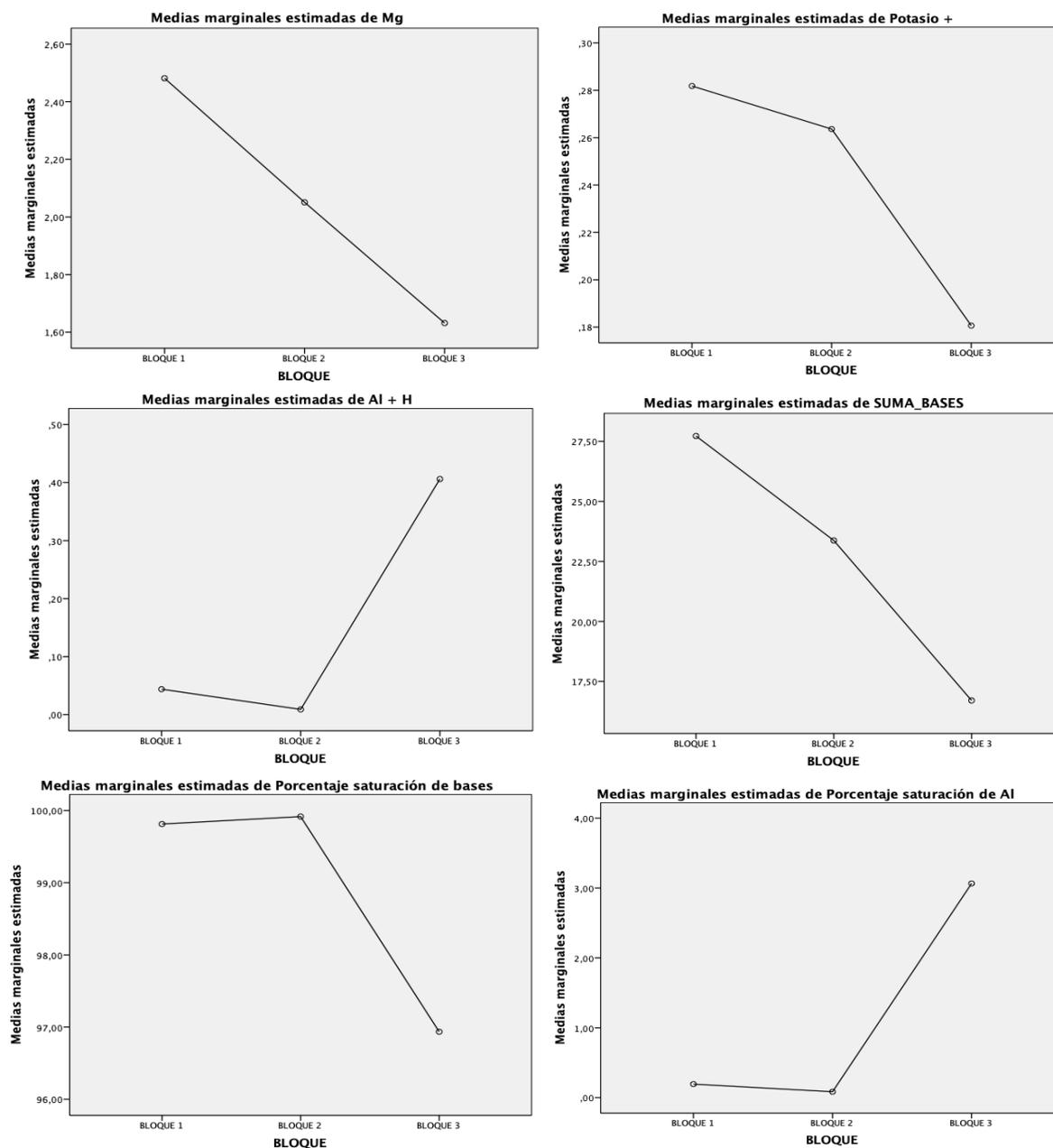
**Figura 28.** Características químicas del suelo por bloques en los modelos de producción INAS.





**Figura 29.** Características químicas del suelo por años en el del modelo de producción ITAS.





**Figura 30.** Características químicas del suelo por bloques en el modelo de producción ITAS.

## 2. Genotipos de cacao utilizados en el experimento

(Fuente: Instituto de cultivos tropicales)

### Clones from farmers selection (ICT), Peru

| Nº | Clone     | Characteristic                              |
|----|-----------|---|
| 1  | ICT-1087  | Productive, resistant to <i>P.palmivora</i> |
| 2  | ICT-1189  | Productive                                  |
| 3  | ICT-2171  | Productive                                  |
| 4  | ICT-1292  | Productive                                  |
| 5  | ICT-1251  | Productive                                  |
| 6  | ICT-2161  | Productive                                  |
| 7  | ICT-1092  | Productive                                  |
| 8  | ICT-2653  | Productive                                  |
| 9  | ICT-2142  | Productive                                  |
| 10 | ICT- 1026 | High quality                                |
| 11 | ICT-1112  | High quality                                |
| 12 | ICT-2172  | Resistant to WB in cushion flower           |
| 13 | ICT-2173  | Resistant to WB in branches                 |
| 14 | ICT-1187  | Resistant to Moniliasis                     |
| 15 | ICT- 1281 | Resistant to Moniliasis                     |

### National and International Clones

| Nº | Clone      | Origen            |
|----|------------|-------------------|
| 1  | ICS – 1    | Trinidad / Tobago |
| 2  | ICS – 6    | Trinidad / Tobago |
| 3  | ICS -39    | Trinidad / Tobago |
| 4  | ICS -95    | Trinidad / Tobago |
| 5  | EET – 400  | Ecuador           |
| 6  | TSH – 1188 | Trinidad / Tobago |
| 7  | TSH – 565  | Trinidad / Tobago |
| 8  | UF – 613   | Costa Rica        |
| 9  | UF – 667   | Costa Rica        |
| 10 | CCN – 10   | Ecuador           |
| 11 | CCN – 51   | Ecuador           |
| 12 | H – 10     | Perú              |
| 13 | IMC – 67   | Perú              |
| 14 | SCA - 6    | Perú              |
| 15 | POUND - 12 | Perú              |

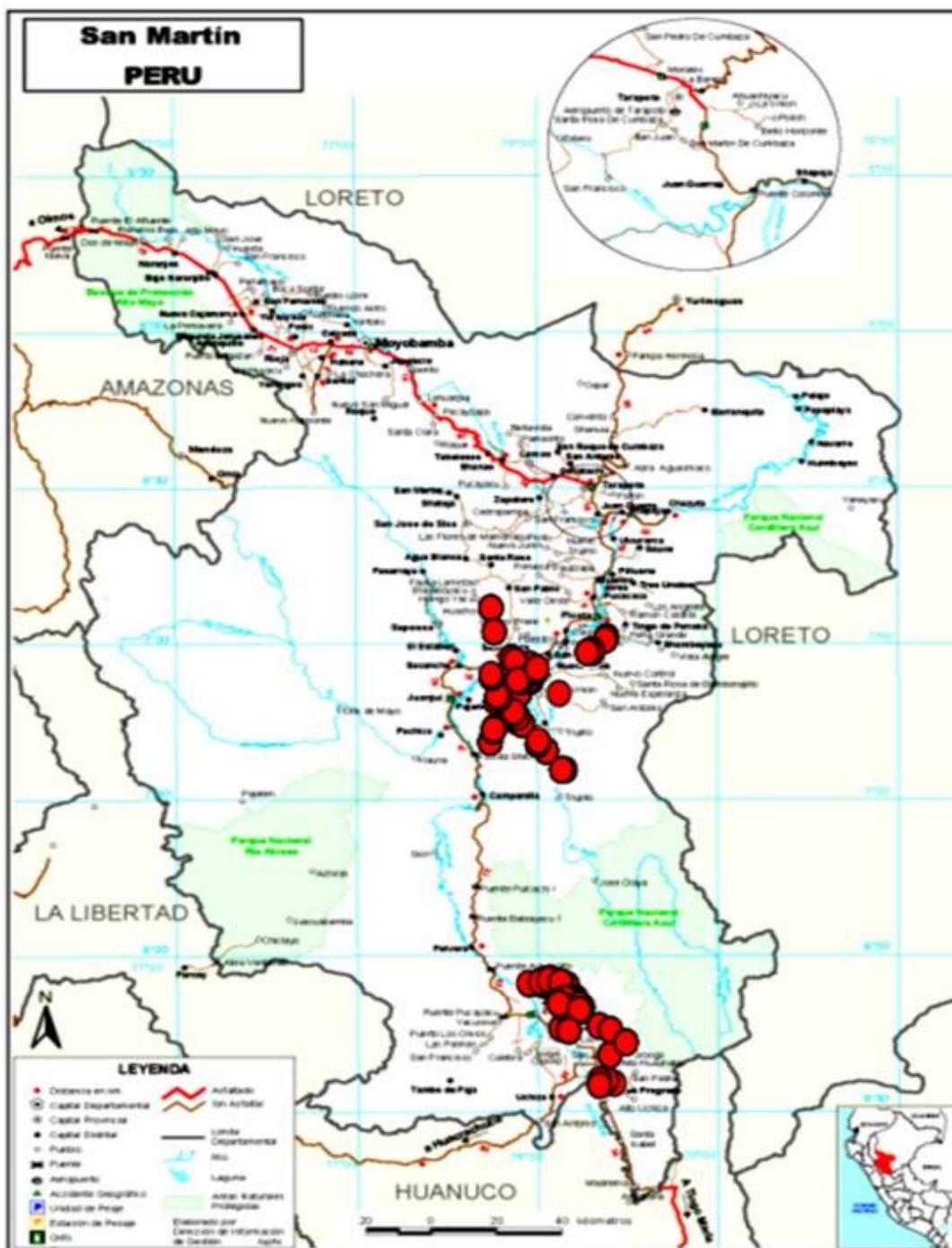
**Clones,Upper Amazon River Basin**

| <b>N°</b> | <b>Clone</b>       |
|-----------|--------------------|
| 1         | CP 2005 C10H       |
| 2         | CEPEC 2002 - AUTO  |
| 3         | PH 09 - AUTO       |
| 4         | PH 17 - AUTO       |
| 5         | BN 34              |
| 6         | PH 16 - AUTO       |
| 7         | CP 53 C10HAS - TES |
| 8         | CP 49 C10HAS TES   |
| 9         | PH 15 - AUTO       |
| 10        | IPIRANGA 1 - AUTO  |
| 11        | BS 01 - INTER      |
| 12        | CA 14 - AUTO       |
| 13        | PH 144 - INTER     |
| 14        | PH 990 - INTER     |
| 15        | PH 21 - INTER      |

**Clones,Upper Amazon River Basin, Peru**

| <b>N°</b> | <b>Clone</b> | <b>River Basin</b> |
|-----------|--------------|--------------------|
| 1         | UNG-77       | Ungurahui          |
| 2         | UNG-53       | Ungurahui          |
| 3         | PAS-105      | Pastaza            |
| 4         | AYP - 20     | Aypena             |
| 5         | AYP - 22     | Aypena             |
| 6         | UGU-126      | Ungumayo           |
| 7         | NUC-156      | Nucuray            |
| 8         | AYP - 15     | Aypena             |
| 9         | PAS-100      | Pastaza            |
| 10        | UNG-76       | Ungurahui          |
| 11        | UGU-112      | Ungumayo           |
| 12        | UNG-73       | Ungurahui          |
| 13        | PAS-91       | Pastaza            |
| 14        | UGU-130      | Ungumayo           |
| 15        | PAS-93       | Pastaza            |

### 3. Ubicación geográfica de genotipos de cacao utilizados en el experimento



(Fuente: Instituto de cultivos tropicales)

## Galería fotográfica

### Muestreo de suelos



Sistema nativo agroforestal mejorado – INAS



Sistema tradicional forestal – ITAS



### Propagación de cacao por ramillas proyecto suelos ácidos



### Homogenización de pH proyecto suelos ácidos



## Selección de genotipos de cacao tolerantes a suelos ácidos

