

**CARACTERIZACION DE CLONES DE CACAO PROMISORIOS CON  
ÉNFASIS EN EL CONTENIDO DE MICRONUTRIENTES**

**MARY SOCORRO COTE FLÓREZ 1991467  
JULIO HERNÁN JIMÉNEZ BETANCOURT 1991407**

**Tesis de Grado**

**Directora:  
Janeth Aidé Perea  
Química, Magíster en Química, Ph. D. en Química**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE QUÍMICA  
Bucaramanga  
2005**

**CARACTERIZACION DE CLONES DE CACAO PROMISORIOS CON  
ÉNFASIS EN EL CONTENIDO DE MICRONUTRIENTES**

**MARY SOCORRO COTE FLÓREZ 1991467  
JULIO HERNÁN JIMÉNEZ BETANCOURT 1991407**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE QUÍMICA  
Bucaramanga  
2005**

*Tras estos años de estudio concluye una de las etapas de mi vida, a la que éste proyecto es el encargado de ponerle fin, quiero agradecer a Dios por el privilegio de la vida y por ofrecerme lo necesario para lograr mis metas.*

*Han sido muchas las personas que me han apoyado en el transcurso de mis estudios universitarios y a quienes con especial gratitud les quiero dedicar éste trabajo, en especial a mis padres, qué orgullosa me siento de ellos y cuan agradecida estoy por llenar mi vida de verdad y comprensión, a mis hermanos por sus maravillosos momentos compartidos atesorados hoy en mi corazón.*

*A mis compañeros de estudio quienes fueron mi constante motivación en esos momentos en los que parecía que nada iba a salir bien.*

*A todos mis profesores de los que tanto he aprendido y quienes sembraron la semilla y fertilizaron mi inquietud por el saber.*

*Gracias a todos mis amigos por esos momentos llenos de sentimientos y pensamientos compartidos, con los cuales comprendí la esencia del ser humano.*

*De corazón, muchas gracias a todos.*

*Mary*

*A todos aquellos amigos, familiares y demás personas que confiaron en mis capacidades y por ende me apoyaron a culminar esta meta y muy en especial a Natalia Rey Rey que siempre me ha acompañado y ha estado en todos los momentos importantes de mi carrera.*

*Julio Jiménez B.*

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1. ESTADO DEL ARTE</b>	4
<b>1.1 EL CACAO</b>	10
1.1.1 Variedades de cacao	10
1.1.2 Manejo del cultivo de cacao	14
1.1.2.1 Ecología del Cacao	15
1.1.2.2 Características de los suelos	16
1.1.2.2.1 Microelementos del suelo	16
1.1.2.2.2 Materia orgánica	21
1.1.2.2.3 Fertilización del suelo	22
1.1.3 Beneficio del cacao	25
1.1.3.1 Recolección	25
1.1.3.2 Desgrane	26
1.1.3.3 Fermentación	26
1.1.3.4 Secado	26
1.1.3.5 Limpieza y clasificación	27
1.1.4 Calidad del grano de cacao	27
<b>1.2 MICRONUTRIENTES</b>	28
1.2.1 Iones hierro	29
1.2.1.1 Funciones	30
1.2.1.2 Deficiencia de hierro	30
1.2.1.3 Fuentes de hierro	32
1.2.2 Iones zinc	33
1.2.3 Iones cobre	36
1.2.4 Iones manganeso	38
<b>2. METODOLOGÍA</b>	40

<b>2.1 MUESTREO Y TRATAMIENTO DE MUESTRAS DE CACAO</b>	40
<b>2.2 ANÁLISIS DE ELEMENTOS MENORES</b>	42
<b>2.3 ANÁLISIS BROMATOLÓGICO</b>	42
2.3.1 Determinación porcentaje de humedad	42
2.3.2 Determinación de porcentaje de grasa	42
2.3.3 Determinación de porcentaje de fibra	43
2.3.4 Determinación de porcentaje de cenizas	43
2.3.5 Determinación de porcentaje de proteína	44
<b>2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO</b>	44
<b>3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	46
<b>3.1 ANÁLISIS DE MICRONUTRIENTES</b>	46
3.1.1. Estudio estadístico de tratamientos en micronutrientes	47
3.1.2. Estudio estadístico de materiales clonales en micronutrientes	50
<b>3.2 ANÁLISIS BROMATOLÓGICO</b>	56
3.2.1 Estudio estadístico de tratamientos en análisis bromatológico	57
3.2.2 Estudio estadístico de materiales clonales en el análisis bromatológico	61
<b>4. CONCLUSIONES</b>	71
<b>RECOMENDACIONES</b>	73
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	74
<b>ANEXO A</b>	79

## ABREVIATURAS

<b>HUM</b>	Humedad
<b>CAS</b>	Cascarilla
<b>PROT</b>	Proteína
<b>FIB</b>	Fibra
<b>CEN</b>	Ceniza
<b>GRA</b>	Grasa

## LISTA DE TABLAS

		Pág.
<b>Tabla 1</b>	Producción y rendimiento de cacao por país	5
<b>Tabla 2</b>	Producción de cacao en grano en Santander, Norte de Santander y Arauca de 1990 a 2000 (toneladas)	8
<b>Tabla 3</b>	Nivel de tecnología nacional del cultivo de cacao	9
<b>Tabla 4</b>	Tipos de clones y sus características morfológicas	14
<b>Tabla 5</b>	Contenido de elementos menores en los suelos después de dos años de aplicación de biofertilizantes Rionegro/2002	25
<b>Tabla 6</b>	Contenido de elementos menores en los suelos después de dos años de aplicación de biofertilizantes San Vicente junio de 2002	25
<b>Tabla 7</b>	Parámetros físico-químicos del grano de cacao	28
<b>Tabla 8</b>	Características químicas del grano de cacao de la zona montañosa de Santander	28
<b>Tabla 9</b>	Información regional y predominio (%) global de número afectados por anemia	31
<b>Tabla 10</b>	Fuentes de hierro en los alimentos	33

<b>Tabla 11</b>	Fuente de zinc en los alimentos	35
<b>Tabla 12</b>	Población estimada de riesgo por deficiencia de zinc	36
<b>Tabla 13</b>	Comparación de la composición en macro y micronutrientes de derivados del cacao	39
<b>Tabla 14</b>	Contenido de micronutrientes (mg/Kg) en los diferentes clones de cacao	46
<b>Tabla 15</b>	Modelo estadístico de tratamientos con los datos transformados, comparación de medias	47
<b>Tabla 16</b>	Anova para tratamientos, en micronutrientes	48
<b>Tabla 17</b>	Efecto del tratamiento sobre el contenido nutricional en los clones de cacao	49
<b>Tabla 18</b>	Modelo estadístico materiales clonales, para micronutrientes, con los datos transformados, comparación de medias	50
<b>Tabla 19</b>	Anova para materiales clonales	51
<b>Tabla 20</b>	Análisis “a posterior” para la variable Cu en los diferentes materiales clonales	52
<b>Tabla 21</b>	Análisis “a posterior” para la variable Zn en los diferentes materiales clonales	53
<b>Tabla 22</b>	Análisis “a posterior” para la variable Mn en los diferentes	53

<b>Tabla 23</b>	Efecto de los micronutrientes en los diferentes clones de cacao	55
<b>Tabla 24</b>	Evaluación de la interacción Clon*Tratamiento, para micronutrientes	56
<b>Tabla 25</b>	Composición química de los clones de cacao	57
<b>Tabla 26</b>	Modelo estadístico de tratamientos para el análisis bromatológico, con los datos transformados, comparación de medias	58
<b>Tabla 27</b>	Anova para tratamientos, en el análisis físico-químico	58
<b>Tabla 28</b>	Características físico-químicas del grano seco de 5 materiales clonales con base en dos tratamientos (con fertilización y sin fertilización)	60
<b>Tabla 29</b>	Modelo estadístico de materiales clonales, para el análisis físico-químico de los clones de cacao; con los datos transformados; comparación de medias	62
<b>Tabla 30</b>	Anova para clones de cacao, en el análisis físico-químico	62
<b>Tabla 31</b>	Análisis “a posterior” para la variable cascarilla en los diferentes	63
<b>Tabla 32</b>	Análisis “a posterior” para la variable grasa en los diferentes materiales clonales	64
<b>Tabla 33</b>	Análisis “a posterior” para la variable fibra, en los diferentes materiales clonales	65

<b>Tabla 34</b>	Análisis “a posterior” para la variable ceniza, en los diferentes materiales clonales	65
<b>Tabla 35</b>	Análisis “a posterior” para la variable proteína, en los diferentes materiales clonales	66
<b>Tabla 36</b>	Efecto del análisis físico-químico en los diferentes clones de cacao	67
<b>Tabla 37</b>	Interacción Trat*Clon para propiedades físico-químicas.	69
<b>Tabla 38</b>	Alimentos fuentes de hierro, zinc, cobre y manganeso en la dieta humana.	70

## LISTA DE FIGURAS

		Pág.
<b>Figura 1</b>	Principales regiones productoras de cacao en el mundo	5
<b>Figura 2</b>	Principales países productores de cacao	6
<b>Figura 3</b>	Posiciones relativas de producción y rendimiento de cacao. (Tasas anuales de crecimiento 15 primeros países)	7
<b>Figura 4</b>	Comportamiento de la producción de grano nacional y regional	8
<b>Figura 5</b>	Planta de características ideales para propagación	13
<b>Figura 6</b>	Síntomas de deficiencia de hierro en hojas jóvenes de cacao	17
<b>Figura 7</b>	Síntomas de deficiencia severa de hierro en hojas adultas	18
<b>Figura 8</b>	Síntomas de deficiencia de hierro	18
<b>Figura 9</b>	Síntomas de deficiencia de zinc en hojas adultas	19
<b>Figura 10</b>	Diversos estados de la deficiencia de zinc	20
<b>Figura 11</b>	Síntomas de deficiencia de zinc en hojas jóvenes de cacao	20
<b>Figura 12</b>	Grano de clon ICS 60 sin cáscara y bien fermentado	27

<b>Figura 13</b>	Prevalencia de anemia en niños por grupo de edades Colombia 1995	31
<b>Figura 14</b>	Prevalencia de anemia en madres con niños de 12-59 meses, Colombia 1995	32
<b>Figura 15</b>	Fermentación en cajón	41
<b>Figura 16</b>	Secador tipo elba, con carros corredizos	41
<b>Figura 17</b>	Gráficos de perfil de tratamientos para micronutrientes	48
<b>Figura 18</b>	Diagramas de cajas, para tratamientos en micronutrientes	49
<b>Figura 19</b>	Gráfico de perfil de materiales clonales para Cu; de las medias estimadas	52
<b>Figura 20</b>	Gráfico de perfil de materiales clonales para Zn; de la medias estimadas	53
<b>Figura 21</b>	Gráfico de perfil de materiales clonales para Mn; de las medias estimadas	54
<b>Figura 22</b>	Gráfico de perfil de materiales clonales para Fe; de las medias estimadas	54
<b>Figura 23</b>	Diagramas de cajas, para clones en micronutrientes	55
<b>Figura 24</b>	Gráficos de perfil de tratamientos, para el análisis físico-químico	59
<b>Figura 25</b>	Diagramas de cajas de tratamientos para el análisis físico-químico del cacao	60

- Figura 26** Gráfico de perfil de materiales clonales para cascarilla; de las medias estimadas 63
- Figura 27** Gráfico de perfil de materiales clonales para grasa; de las medias estimadas 64
- Figura 28** Gráfico de perfil de materiales clonales para fibra; de las medias estimadas 65
- Figura 29** Gráfico de perfil de materiales clonales para ceniza; de las medias estimadas 66
- Figura 30** Gráfico de perfil de materiales clonales para proteína; de las medias estimadas 66
- Figura 31** Gráfico de perfil de materiales clonales para humedad; de las medias estimadas 67
- Figura 32** Diagramas de cajas de clones para el análisis físico-químico del cacao 68

## RESUMEN

### **TITULO:**

CARACTERIZACION DE CLONES DE CACAO PROMISORIOS CON ÉNFASIS EN EL CONTENIDO DE MICRONUTRIENTES\*.

### **AUTORES:**

Julio Hernan Jiménez Betancourt

Mary Socorro Cote Flórez\*\*

### Palabras claves:

Micronutrientes

Análisis fisicoquímico

Clones de cacao

### DESCRIPCIÓN

La deficiencia de micronutrientes repercute significativamente en el bienestar humano y en el desarrollo económico de las comunidades y de los países. Estas deficiencias pueden dar lugar a serios problemas de salud. Adicionalmente hay pérdida de capital humano y de productividad de los trabajadores.

En consecuencia, es necesario atender e incrementar la producción, el consumo y garantizar que la gente cuente con un acceso adecuado de cantidades apropiadas de alimentos inocuos y de buena calidad, para que tengan una alimentación nutritiva. Es por esto que este estudio se realiza con el fin de evaluar los contenidos de los micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu), en los clones de cacao promisorios, ya que es un alimento de consumo masivo muy importante no solo en Colombia si no en todo el mundo; con el fin de obtener datos para fijar estándares de calidad en las cosechas de cacao; ya que el estado nutricional goza de reconocimiento a nivel internacional como un indicador clave del desarrollo nacional y una mano de obra sana y bien alimentada es un requisito indispensable para conseguir un desarrollo económico y social satisfactorio.

Los resultados obtenidos en este estudio, indican que el cacao es una fuente importante de zinc, cobre y manganeso, mientras que su aporte en hierro es menos significativo; estos micronutrientes contribuyen a mejorar la calidad de vida de la población. Además, es importante tener como referencia este estudio, para pensar en una biofortificación de este producto, o en una fortificación del mismo.

---

\* Tesis de Grado.

\*\* Facultad de Ciencias, Programa de Química, Directora: Janeth Aidé Perea

## ABSTRAC

### TITLE:

CHARACTERIZATION OF PROMISING CLONES OF COCOA WITH EMPHASIS IN THE CONTENT OF MICRONUTRIENTS.\*

### AUTHORS:

Julio Hernan Jiménez Betancourt  
Mary Socorro Cote Flórez\*\*

### Clue Words:

Micronutrients  
Physicochemical analysis  
Clones of cocoa

### DESCRIPTION

The deficiency of micronutrients has repercussions meaningfully on the human welfare and in the economic development of communities and countries. These deficiencies can produce serious health problems. Additionally, there is a loss of human capital and productivity of the employees.

In consequence, it is necessary to attend and increase the production, the consumption and to guarantee that people can have adequate access to appropriate amounts of healthy and good quality food, in order to have nutritious nourishment. For this reason, this study is done with the purpose of evaluating the contents of the micronutrients (Fe, Zn, Mn, Cu), in the promising clones of cocoa because it is a food of widespread consumption not only in Colombia but also in all the world in order to get data to set up standards of quality in the cocoa crops. Due to its nutritional state, it has an international recognition as a key indicator of the national development. Thus, a well fed and healthy handwork is an indispensable requirement to get a satisfactory economic and social development.

The results obtained from this study, show us that the cocoa is an important source of zinc, copper and manganese, while its contribution in iron is less significant. These micronutrients help to improve the life quality of the population. Besides, it is important to take this study as a reference to think of a bio fortification of this product or a fortification of itself.

---

\* Undergraduate

\*\* Faculty of science, Program of Chemical, Director: Janeth Aidé Perea

## INTRODUCCION

La deficiencia de minerales repercute significativamente en el bienestar humano y en el desarrollo económico de las comunidades y de los países. Estas deficiencias pueden dar lugar a serios problemas de salud, como una menor resistencia a las infecciones, ceguera, letargia, disminución de la capacidad de aprendizaje, retraso mental y, en algunos casos, la muerte. Adicionalmente hay pérdida de capital humano y de productividad de los trabajadores.

En consecuencia, es necesario atender e incrementar la producción, el consumo y garantizar que la gente cuente con un acceso adecuado de cantidades apropiadas de alimentos inocuos y de buena calidad, para que tengan una alimentación nutritiva. Esto no sólo incluye el consumo de energía, proteínas, grasas, vitaminas, sino también de micronutrientes, así como otros oligoelementos necesarios para el crecimiento y el desarrollo normal.

El estado nutricional goza de reconocimiento a nivel internacional como un indicador clave del desarrollo nacional y una mano de obra sana y bien alimentada es un requisito indispensable para conseguir un desarrollo económico y social satisfactorio. La agricultura es también una fuente importante de ingresos y empleo para la población pobre. Así la inversión directa en la mejora del estado nutricional puede contribuir de forma importante a aumentar la productividad de la mano de obra y sus ingresos. La investigación agrícola nacional al potenciar la producción de alimentos y la capacidad productiva, puede propiciar un mejor estado nutricional (Chada, 2003).

Los micronutrientes tradicionalmente no han sido estudiados de manera exhaustiva en la mayoría de alimentos en el mundo y de igual forma en el país,

debido a que las cantidades que se necesitan de estos elementos para el buen funcionamiento del cuerpo humano son muy pequeñas (mg/Kg) y las consecuencias del déficit de estos son difíciles de detectar.

Hoy en día este pensamiento tiende a cambiar, por que hay estudios que reflejan que las deficiencias de estos elementos son significativas en el desarrollo de un país. En este sentido, la FAO (2003) ha hecho un llamado a las naciones, para generar instrumentos que permitan evaluar los sistemas de alimentación tradicionales de las poblaciones. Para ello es necesario tener consideraciones especiales para realizar con éxito estudios alimentarios y actividades de promoción de la salud entre las poblaciones que tienen sus propios sistemas de alimentación. Estas estrategias de fomento deben ser el resultado de un trabajo mancomunado entre el estado, la academia y los agricultores para proveer a la comunidad datos sobre los nutrientes más básicos para una adecuada alimentación (Kuhnlein, 2003).

La deficiencia del hierro es la más común del mundo. La escasez de éste elemento durante la niñez y adolescencia deteriora el crecimiento físico, desarrollo mental, y la capacidad de aprender. En adultos, reduce la capacidad de hacer trabajos físicos. La anemia severa aumenta el riesgo de las mujeres que mueren en el parto (Sharma, 2003). Sin embargo, no existen datos globales y la anemia se utiliza como indicador indirecto.

Actualmente más de dos mil millones de personas en todo el mundo poseen deficiencias de micronutrientes (Kennedy y col., 2003), de las cuales en América Latina se encuentran alrededor de 100 millones de personas sufren esta deficiencia (Olivares y col., 2003). En Colombia, el 34.3% de los niños y el 28.2% de las niñas presentan niveles de hematocrito indicativo de anemia; mientras que las mujeres embarazadas presentan la mayor prevalencia de anemia con un 46% (Agudelo y col., 1999). El predominio de la anemia en países en vías de desarrollo es tres a cuatro veces mayor que en los países desarrollados (Kennedy y col., 2003).

El zinc es esencial para la supervivencia y su deficiencia tiene consecuencias serias para la salud, afectando también el crecimiento. La suplementación del zinc puede reducir la severidad de un número de infecciones comunes de la niñez, incluyendo diarrea, pulmonía, y posiblemente malaria (Salazar, 2004).

La deficiencia del cobre es causante de algunas enfermedades, como la de Menkes y la de Wilson, que se relacionan ya sea por una falta de éste o bien por problemas de metabolismo. La deficiencia de manganeso en cambio, solamente se ha observado en personas incapaces de metabolizarlo (ICBF, 1992).

Dentro de los productos de consumo masivo se tiene el cacao, consumido en diversas formas, no solo en Colombia si no, en todo el mundo. La zona nororiental genera el 64.5% del total de la producción de cacao en Colombia, con 55000 hectáreas sembradas en el departamento de Santander. Por tal razón, a nivel nacional actualmente se trabaja en la implementación de un modelo de desarrollo de trabajo integral, por medio de concertación y construcción participativa alrededor de la cadena productiva de cacao que se refleja en el aumento de cultivos, desarrollo de investigaciones y generación de nuevos productos para el comercio. Es por esto, que en el objetivo principal de este proyecto se considera de vital importancia la evaluación de clones promisorios de frutos de cacao, cultivados en el municipio de “El Carmen” la zona de mayor producción en el departamento, con énfasis en los micronutrientes hierro, zinc, cobre y manganeso, con el fin de obtener datos para fijar estándares de calidad en las cosechas de cacao.

## 1. ESTADO DEL ARTE

Aunque han surgido a través de los años polémicas sobre la zona exacta de la cual es oriunda la planta de Cacao, no cabe duda alguna de que esta es una planta autóctona del Nuevo Mundo. La tesis que mayor fuerza ha cobrado es la que indica una vasta región amazónica, incluida la Orinoquia, como la zona donde hace aproximadamente 4.000 años surgió el primer espécimen de la planta que hoy se conoce como *Theobroma*. Otras teorías mantienen que esta planta es originaria de Mesoamérica e incluso hay quien asegura que la zona que le dio origen se encuentra entre la parte Sur del Lago de Maracaibo y el río Magdalena. De las hipótesis citadas anteriormente, la que mayor apoyo de tipo paleobotánico y fitogenético tiene es la nombrada en primer lugar, la cual de igual manera explica que la amplia difusión del cacao por el resto del continente se llevó a cabo por el ser humano, los animales y ciertos factores meteorológicos, tales como los vientos (Salazar, 1999).

Después el cacao se extendió por el Caribe, África y Oceanía. Actualmente la zona africana es la más productora y los países que más producen son: Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Brasil y Nigeria (Márquez, 2003), como se puede observar en la **tabla 1**.

En la **figura 1**, se muestra la distribución de las principales regiones productoras de cacao en el mundo y como se observa, Colombia se encuentra dentro de este selecto grupo.

**Figura 1.** Principales regiones productoras de cacao en el mundo.



Fuente: [http://www.globaleye.org.uk/archive/summer2k/focuson/cam\\_pt1.html](http://www.globaleye.org.uk/archive/summer2k/focuson/cam_pt1.html), 19-11-04

**Tabla 1.** Producción y rendimiento de cacao por país.

Puesto	País *	1993		2003		Acumulado Producción 1999-2003	Part. ** (%)	Crecim. *** (%)	
		(Tm)	(Tm/Ha)	(Tm)	(Tm/Ha)			Producción	Rendimiento
1	Costa de Marfil	803.799	0,55	1.225.000	0,72	6.482.130	40,1%	4,3%	3,4%
2	Indonesia	258.059	0,86	426.000	0,87	2.165.300	13,4%	6,2%	2,0%
3	Ghana	254.652	0,36	475.000	0,32	2.075.953	12,8%	3,8%	-3,3%
4	Nigeria	306.000	0,42	380.000	0,35	1.623.000	10,0%	2,3%	-1,7%
5	Brasil	340.885	0,46	170.724	0,29	932.973	5,8%	-7,5%	-5,6%
6	Camerún	99.000	0,29	125.000	0,34	610.700	3,8%	1,2%	0,5%
7	Ecuador	82.729	0,26	89.036	0,24	447.614	2,8%	0,5%	-1,4%
8	Malasia	200.000	0,80	47.661	0,99	307.222	1,9%	-14,7%	2,9%
9	Colombia	57.472	0,46	47.000	0,47	234.653	1,5%	-2,0%	0,6%
10	México	53.986	0,70	48.405	0,58	210.438	1,3%	-1,1%	-1,1%
11	Rep. Dominicana	53.980	0,45	50.000	0,38	207.535	1,3%	-4,0%	-3,6%
12	Papua Nva Guinea	35.735	0,40	42.000	0,43	204.700	1,3%	2,9%	1,0%
13	Perú	14.970	0,53	26.400	0,56	121.750	0,8%	5,3%	-0,7%
14	Venezuela	16.080	0,25	16.418	0,30	78.460	0,5%	-0,6%	1,4%
15	Sierra Leona	5.400	0,27	11.000	0,37	54.760	0,3%	3,2%	1,3%
	Otros (48 países)	90.469	0,33	77.454	0,33	403.541	2,5%		
	Mundo	2.673.216	0,47	3.257.065	0,47	16.160.564	100,0%	1,8%	0,0%

FUENTE: FAO 2004. Cálculos Observatorio Agrocadenas.

\* Los países se han ordenado según la participación en la producción acumulada para el período 1999-2003.

\*\* Se refiere a la participación en el acumulado de la producción para el periodo 1999-2003.

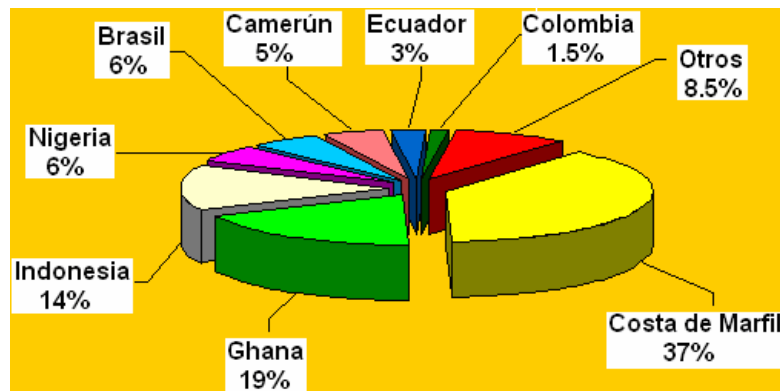
\*\*\* Tasa de crecimiento anual para el período 1993-2003.

Costa de Marfil concentró el 40% de la producción mundial, seguido por Ghana y Nigeria que participaron con el 13% y 10% respectivamente. Los países

latinoamericanos presentaron un descenso relativo de la producción, aunque en el caso de Colombia hubo crecimiento marginal de los rendimientos. Esto indicaría que si a mediano plazo esta tendencia no se modifica, estos países estarían perdiendo sus lugares en el contexto mundial como productores de cacao. De hecho, Asia desplazó a América Latina y el Caribe como segunda región productora de cacao en el mundo.

Como se observa en la **figura 2**, de los países de la región, Brasil aparece como el sexto productor mundial con el 6% de la producción, seguido por Ecuador (3%) y Colombia (1.5%), séptimo y noveno respectivamente. Otros países del continente que cultivan este producto son República Dominicana, México, Perú y Venezuela.

**Figura 2.** Principales países productores de cacao.

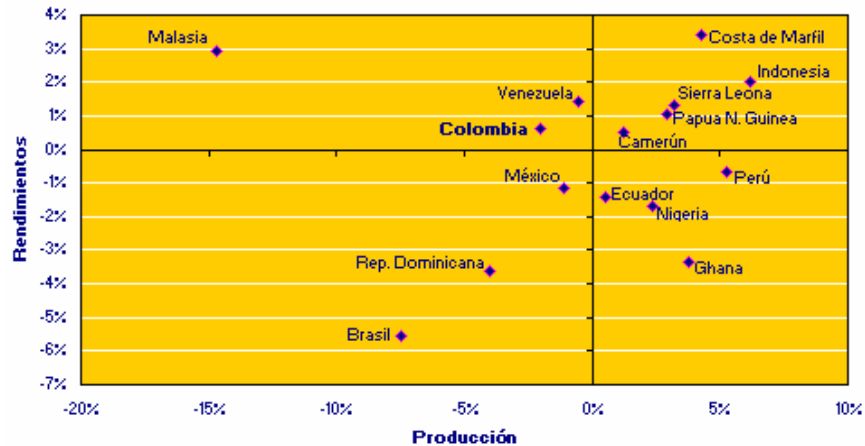


Fuente: UNCTAD 2003.

La **figura 3**, muestra como los países con tasas positivas de crecimiento en producción y rendimiento (vistos en conjunto), en el período estudiado, son Costa de Marfil, Indonesia, Sierra Leona, Papúa, Nueva Guinea y Camerún. En Ghana, Nigeria y Perú si bien la producción se ha incrementado, los rendimientos han caído, indicando que el crecimiento de la producción no es sostenible, a menos que se sigan incrementando las áreas. Brasil, es el productor más importante del hemisferio americano, pero su producción y

rendimiento están cayendo a tasas mayores del 5%, signo de que las medidas aplicadas para combatir la enfermedad de la escoba de bruja que afecto a los cultivos de cacao, aún no han dado resultados.

**Figura 3.** Posiciones relativas de producción y rendimiento de cacao. (Tasas anuales de crecimiento 15 primeros países)



FUENTE: FAO 2004. Cálculos observatorio agrocadenas, Ministerio de Agricultura-Colombia.

Colombia, según los datos reportados por la FAO, desde 1998 muestra rendimientos superiores a los mundiales. El nivel alcanzado en 2002, 0.48 Tm/Ha, es superior al registrado en promedio por el Mundo 0.47 Tm/Ha. Sin embargo, con estas cifras hay que tener cuidado puesto que varían según la fuente. A nivel interno se considera que los rendimientos en el país son mucho más bajos. De acuerdo con la Encuesta Nacional Agropecuaria de 2002, el promedio de los rendimientos es de apenas 0.38 Tm/Ha (Ministerio de Agricultura, 2004).

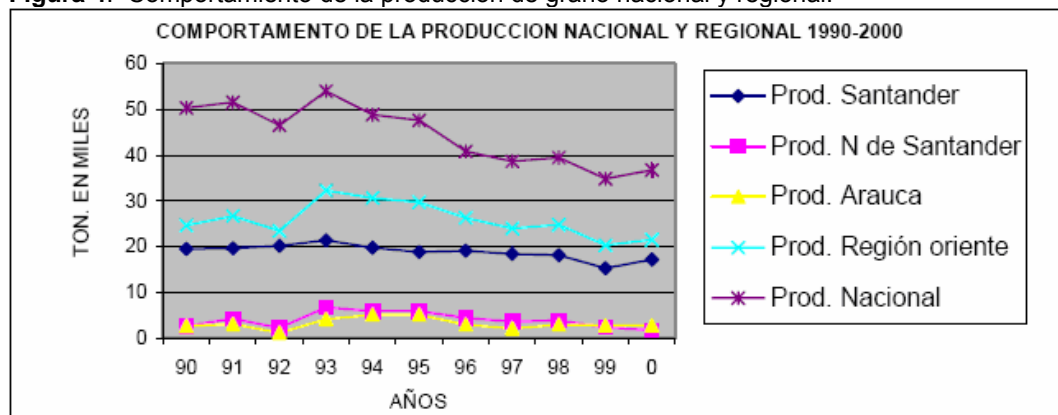
A nivel regional, según el censo cacaotero realizado por FEDECACAO, la producción de cacao a nivel de Santander en conjunto aportó más de la mitad de la producción nacional participando con el 62% de la misma. **(Tabla 2, Figura 4).**

**Tabla 2.** Producción de cacao en grano en Santander, Norte de Santander y Arauca de 1990 a 2000(Toneladas/año).

DEPARTAMENTO	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
<b>Santander</b>	19.470	19.561	20.122	21.414	19.744	18.716	19.055	18.379	18.124	15.292	17.202
<b>Norte de Santander</b>	2.566	2.566	2.184	6.678	5.821	5.868	4.420	3.516	3.803	2.356	1.623
<b>Arauca</b>	2.612	2.979	1.111	4.115	5.001	5.092	2.846	2.028	2.801	2.692	2.670
<b>TOTAL REGIONAL</b>	24.648	26.712	23.417	32.207	30.566	29.676	26.321	23.923	24.728	20.340	21.495
<b>TOTAL NACIONAL</b>	50.372	51.599	46.528	54.004	48.900	47.552	40.838	38.604	39.487	34.864	36.728
<b>PARTICIPACION ORIENTE</b>	49%	52%	50%	60%	63%	62%	64%	62%	63%	58%	58%

FUENTE: Federación Nacional de Cacaoteros, Fondo Nacional del Cacao (1990-2000).

**Figura 4.** Comportamiento de la producción de grano nacional y regional.



FUENTE: Datos Fedecacao, gráfico Secretaria Técnica CITI (1999-2000).

El nivel tecnológico para este cultivo sin embargo es bajo<sup>1</sup>, como se observa en la **tabla 3**, en la cual se muestra la clasificación por nivel de tecnología, de los tres departamentos de la región nororiental. En Santander de las 8.776 fincas censadas en San Vicente, El Carmen, Landázuri y Rionegro, 7.359 se encuentran en un nivel tecnológico bajo. Allí, el agricultor solo realiza las

<sup>1</sup>El censo nacional teniendo en cuenta solo el número de prácticas culturales estableció la siguiente escala de medición:

TECNOLOGIA BAJA: cuando solamente se usan las prácticas de recolección de la cosecha, control de malezas y poda.

TECNOLOGIA MEDIA: se da cuando se usan las prácticas de recolección de la cosecha, control de malezas, poda, control de Moniliasis, y Fitofora, control de Escoba, poda de sombrío, control de Monalonio y otras plagas.

TECNOLOGIA ALTA: cuando se usan las prácticas de recolección de la cosecha, control de malezas, poda, control de Moniliasis y Fitofora, control de escoba, poda de sombrío, control de Monalonio y una o todas de las siguientes prácticas: fertilización, riego, drenaje, y resiembras.

labores básicas de recolección, control de malezas y poda. El control de *Moniliasis* en muchos casos se realiza en el momento de la recolección (Ministerio de Agricultura, 2002)

**Tabla 3.** Nivel de tecnología nacional del cultivo de cacao.

DEPARTAMENTOS		TECNOLOGIA		
RANGO HECTAREAS	Número de fincas	ALTA	MEDIA	BAJA
Norte de Santander	1.457	-	360	1.097
Santander	8.766	1	1.406	7.359
Arauca	779	-	308	471
Total	11.002	1	2074	8.927
% Regional			18%	81.1%
Total Nacional	18.478	138	4.225	14.462
% Nacional		0.7	22.87%	78.27%
Participación de la región a nivel nacional	59.5%		49%	61%

FUENTE: Fedecacao 1999.

A nivel nacional, el 78,27% de los cultivos se encuentran en un nivel bajo de tecnología, alrededor de un 22,87% en un nivel medio y menos del 1 % tiene tecnología alta (FEDECACAO 1999), situación muy preocupante que muestra todo lo que aún hay por hacer de investigación y trabajo de campo en el área de cacao.

## 1.1 EL CACAO

*Theobroma*, se le encuentra en los pisos inferiores de las selvas húmedas de América tropical, generalmente a una altura inferior a los 1.400 metros sobre el nivel del mar. Esta planta necesita para su desarrollo, temperaturas medias anuales elevadas, alta humedad y una cubierta arbórea que la proteja de la insolación directa y de la evaporación. Las semillas del *Theobroma* son ricas en almidón, proteínas, materias grasas y otros elementos que le confieren un valor nutritivo real (Salazar, 1999). También contiene micronutrientes como vitaminas y minerales cuyo requerimiento diario es relativamente pequeño pero indispensable para los diferentes procesos bioquímicos y metabólicos del organismo y en consecuencia para el buen funcionamiento del cuerpo humano (Unicef, 2004).

**1.1.1 Variedades de cacao.** Desde el punto de vista botánico, el cacao con relación a su calidad presenta para algunos tres y para otros cuatro categorías a saber: forasteros, criollos, trinitarios y una categoría adicional considerada por algunos que es el cacao nacional del Ecuador. Una buena parte de la calidad ofrecida por el productor, se fundamenta en el origen que haya tenido la semilla usada para plantar el cultivo, en relación con los tipos descritos.

Características propias de los forasteros son la acidez del grano, el tamaño pequeño de la almendra, el sabor amargo, del cotiledón color violeta cuando el grano está recién sacado de la mazorca. Color que cambia a oscuro cuando ha sido bien beneficiado. Estos cacaos también llamados amazónicos, se originaron en la cuenca alta del río Amazonas, desde donde fueron llevados al África Occidental y a Brasil, son, entonces, los forasteros que en términos de calidad tienden a dar cacaos comunes.

El cacao criollo que significa nativo de descendencia extranjera, corresponde al tipo de almendras más grandes, cuyo cotiledón recién salido de la mazorca es

ligeramente rosado. Presenta un color entre marfil y parduzco o castaño muy claro cuando está correctamente beneficiado. Produce un grano con olor dulce y sabor agradable, unido a un aroma delicado, características distintivas de los tipos finos. Estos cacaos fueron cultivados originalmente en las selvas húmedas mexicanas y en la cuenca del Orinoco, desde donde se propagaron a los demás países centroamericanos.

Los trinitarios, desarrollados en la isla de Trinidad, son al parecer producto del cruce entre Criollos y Forasteros realizados en forma natural entre los distintos tipos introducidos y también resultado de hibridaciones a través de distintos programas desarrollados en esa localidad. La calidad de estos granos corresponde a características intermedias entre los criollos y los forasteros, en diferentes grados de acuerdo con la cantidad de genes de uno u otro que les haya correspondido en el azar de la genética.

El cacao nacional se originó en la franja del bosque tropical del occidente de los Andes entre Colombia y Ecuador, especialmente en la región del río Guayas arriba. Corresponde a un grano bastante grande de cotiledón claro recién extraído de la mazorca y castaño claro una vez beneficiado. Éste grano tiene una demanda particular en el mercado europeo por su sabor denominado “arriba” (Pinzón, 2004).

➤ **Los híbridos** son tipos de cacao que resultan del cruzamiento de dos clones que han sido seleccionados mediante un proceso de estudio bastante prolongado de sus características deseables, las cuales son transmitidas a sus progenies dando origen a poblaciones bastante homogéneas con propiedades tales como:

1. *Precocidad*: Los cacaos híbridos inician su producción entre los 18 a 24 meses después de trasplantados al sitio definitivo, mientras que los cacaos comunes necesitan entre 5 y 7 años para iniciar su producción.

2. *Alta Producción*: Los árboles provenientes de semillas híbridas tienen altos rendimientos con promedio de 1000 kilos y más, de cacao seco por hectárea al año, siempre y cuándo se hayan ejecutado todas las prácticas de manejo adecuadas y se cumplan los requisitos técnicos para la instalación de un cultivo.

3. *Tolerancia a Enfermedades y Plagas*: Los híbridos son seleccionados además por tolerancia a ciertas plagas como el Monalonnium, los pasadores del tronco y enfermedades como la Escoba de bruja, la Ceratocystis, Moniliasis, Fitoftora, y Roselina (Duran, 1999).

➤ **Los clones** son materiales genéticamente uniformes, derivados de un solo individuo y propagados únicamente por reproducción vegetativa.

La reproducción vegetativa tiene importancia especial en la cacaocultura, porque la composición genética (genotipo) de la mayoría de los clones, es altamente heterocigoto y las características que distinguen a estos materiales se recombinan y algunas no se expresan al propagarlos por semilla.

Un clon es un material genético uniforme, derivado de un individuo y propagado solo por medios vegetativos. El concepto de clon no significa que todas las plantas de un mismo clon, sean idénticas fenotípicamente en todas sus características. El comportamiento de una planta depende de la interacción genotipo-ambiente. En consecuencia, una planta varía la apariencia, la producción, los frutos o almendras de acuerdo con el clima, suelo, agua, enfermedades u otras causas (Mejía, 2003a).

En la **figura 5**, se muestra la planta con características óptimas de propagación.

**Figura 5.** Planta de características ideales para propagación (Mejía, 2003a).



En la **tabla 4**, se muestran las características morfológicas de los principales clones de cacao cultivados en el departamento de Santander que van a ser motivo del presente estudio.

**Tabla 4.** Tipos de clones y sus características morfológicas (Mejía, 2003b).

Características Morfológicas	CLON				
	ICS 39	ICS 95	CAP 34	CCN 51	ICS 60
Origen	Nicaragua	Trinidad	Ecuador	Ecuador	Nicaragua
Arquitectura	Erecta	Erecta	Erecta	Erecta	Erecta
Vigor	Vigiosa	Vigorosa	Vigorosa	Vigorosa	Vigorosa
Compatibilidad	Autocompatible	Autocomp	Autocomp	Autocom	Autocomp
Forma de mazorca	Angoleta	Amelonada	Cundeamor	Elíptica	Amelonada
Color de mazorca	Verde	Rojo	Rojo	Rojo	Verde
Color de semilla	Púrpura	Violeta	Púrpura	Púrpura	Púrpura
Forma de semilla	Cilíndrica	Cilindrica	Cilíndrica	Cilíndrica	Ovoide
No. de almen /mazorca	39	41	40	48	47
Peso almendra (g)	1.5	1.4	1.8	1.4	1.3
No. de mazor. árbol/año	50	60	47	--	52
Rendimiento Kg/árbol/año	3.0	3.2	3.1	--	3.6
Altitud recomendada	Por encima de 450msnm	100 a 1200 msnm	Por encima de 400msnm	--	Por encima de 400 msnm
Reacción a enfermedades					
- Moniliasis	Resistente	Resistente	Moderada/resistente	Tolerante	Resistente
- Escoba de bruja	Susceptible	Resistente	Susceptible	Tolerante	Susceptible
- Fitoftora	Susceptible	Susceptible	Susceptible	Susceptible	Susceptible
- Roselina	Susceptible	Susceptible	Susceptible	Susceptible	Susceptible
- Ceratosystis	Tolerante	Susceptible	Resistente	Tolerante	Susceptible

**1.1.2 Manejo del cultivo de cacao.** Durante el ciclo de desarrollo la planta experimenta variaciones continuas de volumen, peso, forma y estructura, motivos por los cuales sus necesidades y su sensibilidad con respecto a los factores del medio varían continuamente (Camacho, 1982). Es por esto, que el buen manejo del cultivo de cacao comienza con la adecuación del suelo y termina con el buen beneficio de la cosecha.

**1.1.2.1 Ecología del Cacao.** Para que una especie vegetal pueda cultivarse en una localidad determinada se necesita:

1. La existencia de un intervalo suficientemente amplio para que la planta pueda completar su desarrollo, desde el nacimiento o brote hasta la plena madurez de los frutos y semillas.
2. Que durante dicho intervalo las condiciones atmosféricas adversas no lleguen a alcanzar una intensidad tal, que pueda disminuir el rendimiento más allá de los límites convenientes.

Las fases del desarrollo en un cacaotal, en plena producción, son:

- a) Desde la aparición de los brotes hasta la floración.
- b) Desde la floración hasta la fructificación.
- c) Desde el principio de la maduración hasta la iniciación de la cosecha.
- d) Desde el principio hasta el final de la cosecha.

La temperatura óptima para el cultivo es de 25.5°C, con una variación de 23 a 28°C, no debiendo bajar ni superar estos límites. Se considera que de los 100 a los 800 metros de altura sobre el nivel del mar, se encuentra la mejor faja para este cultivo. Sin embargo, se da el caso de plantaciones que producen bien hasta los 1100 metros, así como de otras que prosperan satisfactoriamente casi al nivel del mar.

La intensidad de la luz es probablemente el factor más importante a considerar. La incidencia luminosa diaria estará afectada por las nubes, las lluvias fuertes, el polvo, plantas de sombrío temporal y permanente y otros factores. Las cosechas más altas deben esperarse de suelos buenos que tienen sombra (Camacho, 1982).

**1.1.2.2 Características de los suelos.** Los suelos óptimos para el cultivo de cacao deben ser profundos (donde penetren las raíces libremente hasta 1.5m, o más, o sea que no haya piedras, cascajo, arcilla impermeable, que el nivel freático no sea superficial y no haya rocas). La textura más adecuada es la de un suelo franco, franco-arenoso; franco-limoso o franco-arcilloso, nunca un suelo arenoso o arcilloso impermeable. La estructura debe ser grumosa; la permeabilidad debe ser adecuada, es decir, con buen drenaje natural para eliminar el exceso de agua y que a la vez retenga humedad. La topografía debe ser suavemente ondulada o ligeramente inclinada, para evitar la erosión del suelo.

El pH óptimo es de 6.5, con un rango entre 5.5 y 7.5. Los suelos demasiado ácidos son pobres en nutrientes y en los muy alcalinos puede haber problema con el calcio. El suelo debe contener los elementos esenciales (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) en cantidades suficientes (Camacho, 1982).

**1.1.2.2.1 Microelementos del suelo.** Los micronutrientes juegan un papel decisivo en el crecimiento de la planta y en su productividad. Su deficiencia puede originar la pérdida de la misma. Dependiendo del tipo de micronutrientes la manifestación de su deficiencia varía.

En el caso del hierro los síntomas aumentan en gravedad desde la base de la planta hasta los puntos de crecimiento. Aparecen primero en las hojas jóvenes. En casos no severos éstas muestran clorosis bien marcada, mientras que las nervaduras permanecen verdes presentando un contraste marcado con el verde pálido o amarillo verdoso de la zona intervenal. Cuando estas hojas maduran se observan más delgadas y de consistencia similar al papel.

Los síntomas de deficiencia de Fe y de Mn son muy similares, diferenciándose en que, en las deficiencias de Fe las nervaduras secundarias no contrastan claramente con la zona clorótica, mientras que en las de Mn si.

El cacao, parece ser bastante sensible a esta deficiencia especialmente en casos de mala aireación del suelo combinada con valores de pH superiores a 6.8. En estas condiciones cuando se combinan las deficiencias de Fe y Zn se presentan hojas en forma de cinta, características de la deficiencia de Zn, que muestran clorosis férrica típica.

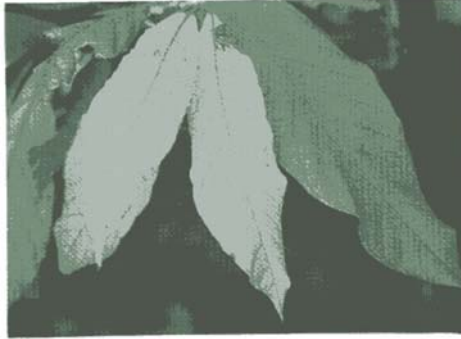
Los resultados experimentales indican que las aplicaciones de Fe al suelo pueden ser efectivas dependiendo de la composición del suelo y de las condiciones de crecimiento de la planta y del tipo de fuente usada (Ocampo 1993). En suelos calcáreos se recomiendan las aspersiones foliares de sulfato de hierro de 0.5% a 1.0% ó también de quelatos. Estos últimos pueden aplicarse al suelo teniendo cuidado de seleccionar el quelato apropiado. En este tipo de suelo, el Fe-EDTA muestra buena respuesta. Las aplicaciones de Fe en forma de quelatos orgánicos deben hacerse antes o al momento de la siembra en combinación con los fertilizantes nitrogenados, para aumentar la eficiencia de absorción del hierro.

En las **figuras 6, 7 y 8**, se observan las diferentes manifestaciones de la deficiencia de Fe en las hojas de las plantas de cacao.

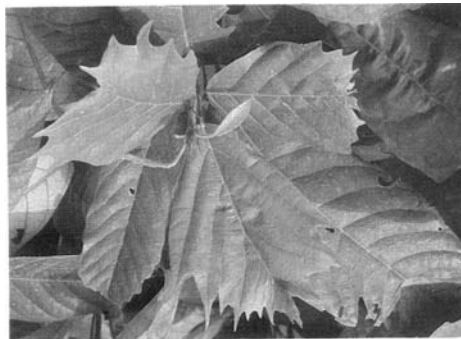
**Figura 6.** Síntomas de deficiencia de hierro en hojas jóvenes de cacao.



**Figura 7.** Síntomas de deficiencia severa de hierro en hojas adultas. Obsérvese el patrón clorótico intervenla de las hojas adultas y el color blanco de las hojas jóvenes.



**Figura 8.** Síntomas de deficiencia de hierro. Obsérvese el desarrollo de indentaciones profundas, que dan la apariencia de márgenes aserrados.



Para el caso de deficiencia de zinc, en Colombia se ha observado esta deficiencia en casi todas las áreas cacaoteras. En particular debe esperarse en suelos de pH alto, en suelos con contenidos elevados de P y K, en suelos compactados y en suelos minerales bajos en materia orgánica.

Los síntomas pueden observarse en la hoja en un estado temprano de su desarrollo. Consisten principalmente en deformaciones foliares, cuya gravedad aumenta con los brotes sucesivos. Los síntomas más útiles para diagnóstico visual son las venas prominentes en las hojas muy jóvenes, la reducción en el ancho de la lámina foliar, el enrollamiento en espiral y, sobretodo, la presencia de un patrón clorótico asociado con las nervaduras principales.

La aplicación de cenizas o de cáscaras de cacao puede inducir la aparición de síntomas de esta deficiencia; su corrección puede hacerse mediante aplicaciones al suelo o por aspersiones foliares. Debe recordarse que estas últimas deben usarse como un suplemento en períodos críticos o como una medida de emergencia ya que la fertilización foliar no substituye a la edáfica.

Para aplicaciones al suelo puede usarse como fuente el sulfato de Zn (35% de Zn) y algunos quelatos (ADTA, HEDTA) con concentraciones de Zn entre 13 y 15%. En suelos calcáreos y alcalinos los sulfatos no dan buenos resultados por lo que debe recurrirse a los quelatos que son bastante estables en esas condiciones.

En cacao se puede aplicar al suelo una dosis de 20-25 Kg/ha de  $ZnSO_4$  al voleo, en el área comprendida entre el tronco y la corona del árbol. Para aplicación foliar se debe emplear una dosis de 250 g diluida en 200 litros de agua/Ha (Ocampo, 1993).

En las **figuras 9, 10 y 11**, se observan las diferentes manifestaciones de la deficiencia de Zn en las hojas de las plantas de cacao.

**Figura 9.** Síntomas de deficiencia de zinc en hojas adultas. Obsérvese las venas prominentes, la reducción en el ancho de la lámina foliar y el patrón clorótico intervena.



**Figura 10.** Diversos estados de la deficiencia de zinc comparadas con una hoja normal (izquierda).



**Figura 11.** Síntomas de deficiencia de zinc en hojas jóvenes de cacao. Obsérvese el enrollamiento en espiral (Ocampo, 1993).



En el caso de los síntomas de deficiencia de manganeso, las partes mas afectadas son las hojas jóvenes, las que inicialmente conservan su color verde normal y pronto comienza la aparición de pequeñas áreas cloróticas que se inician por la parte apical de la lámina, abarcando las regiones intervenales.

A medida que la deficiencia se agudiza, la zona clorótica del ápice pasa a un estado necrótico que no logra alcanzar una gran área debido a la rápida caída de las hojas.

En el caso de los síntomas de la deficiencia de cobre las hojas mas nuevas se reducen en tamaño, el número de nervaduras secundarias disminuye y las distancias que se encuentran no son uniformes.

En la región basal de la lámina el área intervenal es muy grande, siendo lo contrario en el ápice, donde las nervaduras se encuentran a poca distancia. La región apical de la hoja es muy susceptible, pues rápidamente y sin pasar por un estado clorótico, se desarrolla una necrosis (Camacho, 1982).

**1.1.2.2.2 Materia orgánica.** El deterioro progresivo de los suelos utilizados en la siembra de cacao es producto de la incorrecta utilización del sistema de preparación y manejo del cultivo que comprende tumba, quema, siembra en el sentido de la pendiente, labranza con prácticas y herramientas inadecuadas. Actividades que, en conjunto, han originado la pérdida constante de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y que se traducen en una reducción de su nivel productivo. El componente biológico fue considerado por muchos años de poca importancia, pero en la actualidad se reconoce su función como eje fundamental en el incremento de la disponibilidad de los componentes orgánicos y sintéticos aplicados como fertilizantes.

Una alternativa de manejo que permite recuperar las condiciones de fertilidad y aún mejorarlas, es la aplicación de materia orgánica, cuya función primordial es mantener y aumentar el potencial de microorganismos habitantes del suelo con el fin de mejorar las propiedades biológicas y químicas del mismo. También se puede emplear la fertilización química.

En el caso de la agricultura orgánica se considera el suelo como un organismo vivo, dinámico, que nace, madura y muere, presentando una transformación similar a la de un organismo o comunidad biótica. Lo anterior hace que en la actualidad, el suelo no sea considerado solamente como soporte de las

plantas, sino que se piense en él como un organismo vivo que está en constante evolución y que esa vida es la base primordial de su fertilidad.

Las prácticas utilizadas actualmente en la agricultura orgánica consisten en nutrir los micro y macroorganismos del suelo para que faciliten en las plantas la asimilación de los elementos esenciales para su desarrollo. El empleo continuo de materia orgánica durante el establecimiento y mantenimiento de las plantaciones de cacao, constituye la forma más eficiente para crear condiciones favorables en el desarrollo y multiplicación de los microorganismos; prácticas que mejoran la fertilidad del suelo y elevan su potencial productivo.

El abono orgánico se obtiene de la descomposición de los residuos de cosecha de las plantas cultivadas (hojas, tallos, frutos, cacota de cacao, desperdicios de cocina, etc.) y excretas de animales (bovinaza, gallinaza, y otros). Estos residuos experimentan un proceso de descomposición, por la acción de numerosos organismos que transforman la materia orgánica en nutrientes asimilables para las plantas, dando como resultado un abono rico en la mayoría de nutrientes, que se convierten en un fertilizante excelente, fácil y económico de producir, ya que todos sus componentes se obtienen de la misma finca.

**1.1.2.2.3 Fertilización del suelo.** Existen diferentes formas de fertilizar el suelo, con abono orgánico (compost, lombricultura, gallinaza, bioabono microbiano) y químicamente.

➤ *Compost*

Es un abono que se obtiene por descomposición de residuos o desechos de plantas y animales que son transformados en una masa homogénea de estructura grumosa, rica en humus y en microorganismos. Este proceso es aeróbico, por lo tanto, se realiza en presencia de aire, ya que la descomposición la hacen microorganismos como bacterias y hongos.

➤ *Lombricompuesto*

Abono orgánico, producto de la transformación de los materiales biodegradables utilizados en la alimentación de la lombriz. Estos son ingeridos y convertidos en excretas, las cuales se clasifican en función del tipo de alimento con el que se nutre a la lombriz.

➤ *Gallinaza*

Es un material, compuesto por las excretas de las gallinas, residuos de alimentos, plumas, huevos rotos y el material fibroso de la cama con cal; su composición química, varía de acuerdo con la cantidad de estos compuestos y el tipo de explotación, dependiendo si es gallinaza de piso o de jaula. La gallinaza de piso se obtiene de las gallinas explotadas en pisos de concreto o tierra, con camas de cascarilla de arroz, aserrín y otros, mientras que la gallinaza de jaula es el producto compuesto por heces, plumas y desperdicios de alimentos que se mezclan en la explotación de gallinas mantenidas en jaulas las cuales tienen diferentes contenidos de nitrógeno, fibra y minerales, dependiendo del tipo de ave, dieta y edad de la cama.

No existe una diferencia muy grande entre los contenidos nutricionales de la gallinaza de piso y la gallinaza de jaula, las dos son igualmente nutritivas y contiene elementos que pueden ser aprovechados fácilmente por las plantas.

➤ *Caldos Microbiales*

Son bio-abonos líquidos fermentados preparados con sustancias que se encuentran en la naturaleza, obtenidos en la finca cacaotera; su uso aporta al suelo algunos minerales para la nutrición de la planta y permite inocular microorganismos activadores de la vida del suelo. Su elaboración es sencilla, se puede hacer a partir de la descomposición y fermentación aeróbica y anaeróbica de diferentes sustratos (Mejía, 2000c).

➤ *Fertilización química*

Para corregir las deficiencias de nitrógeno, fósforo y potasio, los suelos se fertilizan con fuentes que aportan un solo elemento y son conocidos como simples: el nitrógeno conocido como urea, el fósforo como super fosfato triple y el potasio como cloruro de potasio. Al mezclarlos en proporciones adecuadas, se pueden fabricar en la finca, un abono con los requerimientos que la planta necesita; además de ser eficaz es de menor costo que los abonos compuestos. Estos elementos deben fraccionarse en partes iguales para aplicarlos dos veces al año, a comienzos del período de lluvias cada semestre (Mejía, 2000a).

La información relacionada con el contenido de micronutrientes en el suelo usado para el cultivo de cacao es muy escasa; pero la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Regional Siete (Corpoica), realizó un estudio en el año 2002 para la obtención de cacao orgánico sostenible con aplicaciones de compuestos orgánicos como gallinaza, lombricompostos, compost, caldos microbiales y abonos químicos que pueden incrementar la cantidad disponible de micronutrientes en el suelo.

Los experimentos que originaron los resultados que se presentan a continuación, se iniciaron mediante la selección de agricultores en las zonas productoras de cacao de Rionegro y San Vicente de Chucurí. Los estudios se condujeron mediante un diseño de bloques al azar, con tres repeticiones utilizando una parcela con 16 árboles. Se encontró que las aplicaciones de compuestos orgánicos producen rendimientos significativamente superiores a los producidos cuando el agricultor aplicaba solo correctivos de la acidez (Mejía, 2003d).

En las **tablas 5 y 6**, se muestran los contenidos iniciales de micronutrientes en el suelo de los diferentes municipios y los resultados obtenidos.

**Tabla 5.** Contenido de elementos menores en los suelos después de dos años de aplicación de biofertilizantes Rionegro/2002.

APLICACIÓN	mg/Kg			
	Fe	Cu	Mn	Zn
Caldos microbiales	178	1.0	7.2	2.0
Lombrinaza	238	2.0	14.2	4.2
Gallinaza	135	1.5	9.2	3.4
Compost	214	1.1	14.9	5.0
Químico	184	1.6	18.9	4.9
Testigo	510	1.2	3.8	1.6

Fuente: Laboratorio de suelos Corpoica C.I. Tibaitatá.2003.

**Tabla 6.** Contenido de elementos menores en los suelos después de dos años de aplicación de biofertilizantes San Vicente junio de 2002 (Mejía y col., 2003d).

APLICACIÓN	mg/Kg			
	Fe	Cu	Mn	Zn
Caldos microbiales	298	3.3	89	26
Lombrinaza	254	3.7	79	7
Gallinaza	110	2.3	63	6
Compost	268	4.2	82	15
Químico	118	2.0	56	6
Testigo	350	3.9	48.0	4.9

Fuente: Laboratorio de suelos Corpoica C.I. Tibaitatá.2003.

**1.1.3 Beneficio del cacao.** Dentro de los problemas relevantes en el sector productivo sobresale la heterogeneidad de la calidad del grano causada, entre otros factores, por el manejo inadecuado del beneficio, especialmente en lo referente a la forma como se efectúan, la fermentación y el secado (Perea y col., 2000).

El beneficio del cacao comprende las siguientes etapas:

**1.1.3.1 Recolección.** La recolección debe hacerse dependiendo del volumen de la cosecha, de la madurez de las mazorcas y la presencia de plagas, enfermedades o animales dañinos. Se deben cosechar únicamente los frutos maduros, porque el grano sin madurez origina un producto de mal sabor y aroma.

**1.1.3.2 Desgrane.** La extracción de las semillas de la cáscara, se denomina desgranada o deguyada y se hace deslizando los dedos de la mano a lo largo de la placenta o vena central de la mazorca, evitando extraerla para no mezclarla con los granos de cacao. Si esto sucede debe sacarse posteriormente dicha placenta pues constituye una impureza que perjudica la calidad del producto.

**1.1.3.3 Fermentación.** Es el paso fundamental en el beneficio del cacao puesto que en este proceso se desarrollan los precursores del aroma y sabor del grano. Por el contrario, una mala fermentación o la ausencia de ésta puede demeritar el producto de manera notable.

El proceso de fermentación tiene por objetivo los siguientes aspectos:

- ✓ Desprender los granos del mucílago que los rodea para facilitar su conservación.
- ✓ Provocar la muerte del embrión e impedir la germinación.
- ✓ Originar la cadena de reacciones bioquímicas en el interior de los granos que generan un aumento de su volumen y el cambio de color hasta alcanzar el tono chocolate característico del grano de cacao

Los métodos de fermentación más comunes son, en montones, en cajas y en tambor rotatorio (Perea y col., 2000) entre otros.

**1.1.3.4 Secado.** El principal objetivo del secado es disminuir el contenido de humedad, la acidez y la astringencia, además de desarrollar el color chocolate característico de los granos bien fermentados, lo cual se obtiene mediante el secado natural o artificial (Perea y col., 2000).

**1.1.3.5 Limpieza y clasificación.** Deben eliminarse todas las impurezas, granos mohosos, partidos y vanos (sin almendra), esto mediante proceso manual o haciendo pasar la masa de almendras a través de zarandas, dejando solamente los granos bien fermentados y secos (Pinzón, 2004).

**1.1.4 Calidad del grano de cacao.** Para las industrias procesadoras, el cacao de calidad es aquel que después de ser debidamente beneficiado, desarrolla plenamente el sabor y aroma característicos del chocolate. Además de esto, para las fábricas es también importante el tamaño del grano, el contenido de grasa y el porcentaje de cascarilla. Aunque estos factores están fuera del control del productor, en los cultivos ya establecidos, pueden ser definidos en el momento de seleccionar el material de propagación.

Las industrias demandan almendras con peso superiores a 1 gramo, contenidos de grasa del orden de 55% del peso y la cascarilla inferior al 12% del peso total del grano (Pinzón, 2004). En la **figura 12** se observan las características de granos del clon ICS 60 bien fermentado y secados.

**Figura 12.** Grano de clon ICS 60 sin cáscara y bien fermentado.



En la **tabla 7**, se presentan los parámetros utilizados por las industrias transformadoras en Colombia para su clasificación y en la **tabla 8**, los resultados de la caracterización de los clones de cacao promisorios, obtenidos en el CICTA (UIS) por solicitud de Fedecacao (2004). Esta caracterización no

incluyó el contenido de micronutrientes, por lo que no se conoce la composición del grano en cuanto a estos elementos.

**Tabla 7.** Parámetros físico-químicos del grano de cacao (Pinzón, 2004).

	<b>BAJO</b>	<b>NORMAL</b>	<b>ALTO</b>
<b>PORCENTAJE DE GRASA</b>	<52	52 A 55	>55
<b>PORCENTAJE DE CASCARILLA</b>	<11	11 A 12	>12
<b>TAMAÑO DE GRANO (g)</b>	<1.05	1.05 a 1.2	>1.2
<b>PORCENTAJE DE HUMEDAD</b>	6 a 6.5	7 a 8	>8
<b>pH</b>	<5	5 a 5.5	>5.5

Fuente: Departamento de fomento. Compañía Nacional de Chocolates. Bucaramanga. 2004.

**Tabla 8.** Características químicas del grano de cacao de la zona montañosa de Santander (Pinzón, 2004).

<b>No.</b>	<b>CLON</b>	<b>pH</b>	<b>PORCENTAJE</b>			
			<b>GRASA</b>	<b>FIBRA</b>	<b>PROTEÍNA</b>	<b>VALOR CALÓRICO</b>
1	ICS-95	4.99	53.12	2.56	13.56	624.6
2	CCN-51	5.02	52.48	3.09	12.38	619.04
3	ICS-60	5.01	54.37	3.18	15.43	627.53
4	ICS-39	5.27	54.95	4.44	15.06	625.63
5	CAP-34	5.0	53.55	3.95	15.69	618.75
6	TESTIGO	5.22	58.43	2.42	13.44	652.15

Fuente: Federación Nacional de Cacaoteros-Fedecacao Fondo Nacional del Cacao (2004).

## 1.2 MICRONUTRIENTES

Los elementos minerales imprescindibles para el organismo suelen clasificarse en macronutrientes o micronutrientes. Se consideran macronutrientes los iones calcio, fósforo, potasio, azufre, cloro, sodio y magnesio y micronutrientes u

oligoelementos los iones hierro, yodo, flúor, zinc, cobre, cromo, selenio, cobalto y manganeso.

Existen otros micronutrientes como el zinc, el ácido fólico, el calcio y todas las vitaminas y minerales. Los elementos minerales constituyen una proporción pequeña (4%) de los tejidos corporales. Sin embargo, son esenciales como componentes formativos y en muchos fenómenos vitales. Algunos de ellos forman tejidos duros como los huesos y los dientes; otros se encuentran en los líquidos y tejidos blandos.

En los alimentos naturales se encuentran los minerales en varias formas, mezclados o combinados con proteínas, grasas y carbohidratos. Los alimentos elaborados o refinados como grasas, aceites, azúcar y almidón de maíz tienen minerales en baja proporción. La concentración total del mineral en un alimento se estima al quemar la fracción orgánica (combustible) de una cantidad dada del alimento y al pesar las cenizas que resultan (Salazar, 1999).

**1.2.1 Iones hierro.** Uno de los más importantes micronutrientes es el hierro que es esencial para el crecimiento físico, el desarrollo de las funciones cognitivas y fisiológicas y la resistencia a las infecciones, además se encuentra naturalmente en los alimentos (UNICEF, 2004).

El adulto normal tiene menos de 5 gramos de hierro en su organismo, cantidad aparentemente pequeña, pero de importancia extraordinaria en la economía corporal. Se encuentra en el cuerpo en dos formas: a) Como componente funcional esencial distribuido en hemoglobina, mioglobina y enzimas hémicas (70%) y b) Como hierro de almacenamiento no esencial distribuido en el hígado, bazo y médula ósea en forma de ferritina y hemosiderina (30%).

La cantidad de hierro que se absorbe de la dieta está determinada por el estado de la mucosa intestinal y la biodisponibilidad de hierro (en forma de

hierro hemínico y no hemínico), cuando el cuerpo tiene menos reservas la absorción de hierro aumenta.

**1.2.1.1 Funciones.** El hierro es un elemento muy importante en el transporte de oxígeno y en el proceso de respiración celular. La hemoglobina se combina con el oxígeno de los pulmones, lo libera en los tejidos y lo devuelve en forma de anhídrido carbónico a los pulmones. El hierro también es constituyente esencial del proceso de respiración celular, de síntesis de ADN, de la proliferación celular y de la formación de colágeno.

**1.2.1.2 Deficiencia de hierro.** Se manifiesta por anemia hipocrómica, en la cual los glóbulos rojos tienen un contenido reducido de hemoglobina y son pálidos, por lo cual la sangre tiene menos capacidad para transportar oxígeno.

La anemia ferropénica se manifiesta por un cuadro clínico común a todas las anemias: palidez de la piel y los tejidos, debilidad, fatiga, cefaleas y sensación constante de cansancio, y baja capacidad intelectual.

Se calcula que la deficiencia de hierro en los niños y niñas de 6 a 24 meses de edad disminuye el desarrollo cerebral en 40-60% de los niños del mundo en desarrollo. La anemia severa causa la muerte de las mujeres en la gestación y el parto. Se estima que la anemia en los adultos disminuye la fuerza productiva y reduce en 2% el PBI de una nación.

En la **tabla 9**, se observa la deficiencia de Hierro en algunas regiones del mundo para la población en general.

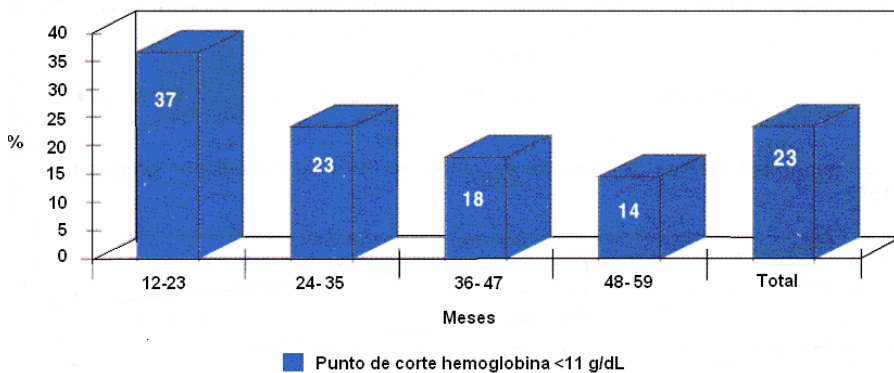
**Tabla 9.** Información regional y predominio (%) global de número afectados por anemia.

REGION	POBLACION (MILLONES)*	POBLACION AFECTADA POR ANEMIA	
		NÚMERO (MILLONES)	% PREDOMINIO
África	535	244	46
América	751	141	19
Este del Mediterráneo	408	184	45
Europa	860	84	10
Sureste de Asia	1364	779	57
Occ. pacífico	1574	598	38
<b>TOTAL</b>	<b>5491</b>	<b>2030</b>	<b>37</b>

Fuente: HarvestPlus 2003.

Estudios realizados en Colombia (Regiones: Atlántico, Oriental, Central, Pacífica, Bogotá), por el Ministerio de Salud, el Instituto Nacional de Salud (1995-1996), la PAFI (Presidencia de la República), ICBF, Profamilia, UNICEF, OPS/OMS, FAO y ROCHE; indican que la prevalencia de anemia en niños menores de 5 años fue de 23,3% medido por hemoglobina. El grupo mas afectado es el de 12-23 meses de edad con 36,7%; es decir, que uno de cada cuatro niños sufre algún grado de anemia. La prevalencia disminuye progresivamente con la edad, de modo que en el grupo de 48-59 meses es de 14,4% como se observa en la **figura 13**.

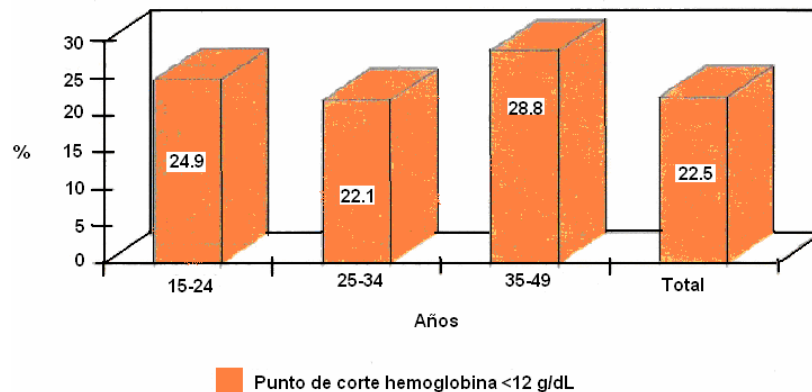
**Figura 13.** Prevalencia de anemia en niños por grupo de edades, Colombia 1995.



Fuente: INS 1998.

Por otra parte, en el mismo estudio, para las madres con niños de 12- 59 meses y gestantes, la prevalencia de anemia fue de 22,5%, aumentando progresivamente a medida que aumenta la edad, hasta los 49 años como se observa en la **figura 14**. Lo anterior indica que una de cada cuatro mujeres sufre de algún grado de anemia (Castro, 1998).

**Figura 14.** Prevalencia de anemia en madres con niños de 12-59 meses, Colombia 1995.



Fuente: INS 1998

**1.2.1.3 Fuentes de hierro.** Las mejores fuentes de hierro hemínico son el hígado, las carnes rojas, el pollo, el pescado, los huevos y las vísceras, mientras que las principales fuentes de hierro no hemínico son los alimentos de origen vegetal como leguminosas y mezclas vegetales. También son fuente de hierro los alimentos enriquecidos con hierro o suplementos de hierro.

En la **tabla 10**, se muestran los diferentes alimentos con sus contenidos de hierro, ya que actualmente su consumo masivo en muchos países los hace muy importantes y por lo tanto son motivo de constante estudio.

**Tabla 10.** Fuentes de hierro en los alimentos.

<b>ALIMENTO</b>	<b>CONTENIDO DE Fe (mg/Kg)</b>
Fríjol	55
Arroz	60
Trigo	53
Lentejas	95

Fuente: FAO / LATINFOODS. 2002.

**Observaciones:**

- ✓ La absorción de hierro es más eficaz en presencia de vitamina C, B<sub>12</sub>, B<sub>6</sub>, ácido fólico, cobre, fósforo, calcio, ácido clorhídrico.
- ✓ El café, exceso de zinc, diarrea, taninos, proteína de soya, oxalatos, carbonatos y fibra, actúan como antagonistas (contrarrestan la acción del hierro).
- ✓ Las dosis recomendadas no están bien definidas; se dan valores entre 5 y 30 mg, con dosis más altas para mujeres gestantes y lactantes y niños (Unicef, 2004).

**1.2.2 Iones zinc.** Este elemento se encuentra en los tejidos de plantas y animales en cantidades más pequeñas que el hierro. El cuerpo humano contiene aproximadamente 2 g de iones zinc, muy concentrado en el cabello, piel, ojos, uñas y testículos; pero también se halla en todos los tejidos y líquidos del organismo humano, así como en las fracciones subcelulares. Debido a su gran masa, la musculatura y el tejido óseo contienen aproximadamente el 90% del zinc total.

En la sangre, la concentración del zinc es más elevada en los leucocitos y luego en los eritrocitos y en el suero. Aproximadamente dos tercios del zinc sérico se encuentran en forma difusible, unido con poca fuerza a la albúmina. Esta guarda equilibrio con una forma de transporte pequeña (2%) pero activa,

que está presente como complejo de Zn-aminoácido, sobre todo Zn-cisteína y Zn-histidina. En este tipo el Zinc atraviesa sin dificultad la membrana celular y la barrera hematoencefálica.

La conservación de la homeostasia de los iones zinc parece realizarse principalmente en el aparato digestivo. Al aumentar el aporte, la secreción del zinc endógeno en el intestino empieza a elevarse y, a pesar de que una parte se reabsorbe, se incrementa la pérdida en las heces.

Su absorción se realiza sobre todo en el duodeno, pero también a lo largo del tubo digestivo. El porcentaje que se absorbe varía mucho, según las dosis y la presencia de factores inhibidores o facilitadores. Un ligando proteínico indecible, la metalotioneína, interviene en la regulación del paso del zinc por la célula de la mucosa. También se ha demostrado que la cantidad de ese elemento influye en la dirección de su movimiento en dicha célula. La metalotioneína enlazante del zinc se ha encontrado también en otros tejidos (hígado, riñones); aunque su función en el metabolismo de este mineral todavía no se aclara, es probable que participe en la detoxificación y en el almacenamiento. La presencia de ciertos factores dietéticos en la luz intestinal mejora la absorción del zinc, entre ellos cabe citar: los aminoácidos histidina, cisteína y metionina; la vitamina C y EDTA. La absorción del zinc disminuye con altas concentraciones de fitatos, calcio, fósforo y cadmio.

Algunas enzimas más conocidas de los mamíferos que contienen zinc en su sitio activo son las siguientes: carboxipeptidasas pancreáticas, que participan en la digestión intestinal de proteínas; anhidrasa carbónica, que conserva un equilibrio adecuado entre el dióxido de carbono y el ion bicarbonato, influyendo así en el transporte e intercambio de  $\text{CO}_2$ , la producción de ácido clorhídrico en el estómago y la conservación del equilibrio ácido-básico; deshidrogenasa de alcohol, que es esencial en la degradación del etanol, y otras deshidrogenasas análogas que oxidan alcoholes (entre ellas la reductasa de retinina), encargada de convertir retinol en retinal durante el proceso de la visión; fosfatasa alcalina,

que es una hidrolasa inespecífica de monoéster de fosfato con una posible función en el transporte y transferencia de fosfato y también en la mineralización de los huesos; dismutasa de súper óxido (que también contiene cobre), una enzima citosómica que participa en la eliminación de radicales súper óxidos muy reactivos, protegiendo así las estructuras celulares contra lesiones oxidativas.

El déficit de iones zinc produce retrasos en la pubertad, pérdida del apetito, mala cicatrización de heridas y quemaduras, menor resistencia a las enfermedades, problemas de fertilidad masculina, dermatitis y acné. Se encuentran en las carnes rojas, riñones, ostras, calabaza, pan, cereales integrales y alubias. La dosis recomendada es de 15 mg/día y se encuentra en casi todos los alimentos: carnes, pescados, mariscos, leche, huevos, cereales enteros, hortalizas, legumbres, etc.; pero el zinc de los vegetales se absorbe menos (Salazar, 2004).

En la **tabla 11** se muestran los principales alimentos que aportan zinc al organismo con sus cantidades respectivas y en la **tabla 12** las poblaciones en riesgo por deficiencias de este en algunas regiones del mundo.

**Tabla 11.** Fuente de zinc en los alimentos.

<b>ALIMENTO</b>	<b>CONTENIDO DE Zn (mg/Kg)</b>
Frijol	28
Arroz	27
Trigo	22
Lentejas	31

Fuente: FAO / LATINFOODS. 2002.

**Tabla 12.** Población estimada de riesgo por deficiencia de zinc.

<b>REGION</b>	<b>POBLACION (MILLONES)</b>	<b>PORCENTAJE DE POBLACION EN RIESGO POR DEFICIENCIA DE ZINC</b>
Asia	3,063	61
Sur de Asia	1,297	95
Suroriente de Asia	504	71
China	1,262	21
Africa y Este Mediterráneo	923	70
África Sub-Saharan	581	68
Norte de Africa/Este mediterráneo	342	74
América Latina/Caribe	498	46
<b>Países en vía de desarrollo</b>	<b>4,484</b>	<b>61</b>
Usa/Canadá	305	1
Europa occidental	457	8
Este de Europa	413	13
Pacífico occidental	223	19
<b>Países en vía de desarrollo total</b>	<b>1,398</b>	<b>10</b>
<b>Total de todas las regiones</b>	<b>5,882</b>	<b>49</b>

Fuente: Fuente: HarvestPlus 2003.

**1.2.3 Iones cobre.** El contenido promedio de cobre en los alimentos es de 4-5 mg por kilo. La concentración de iones de cobre en la sangre humana es de 1-3 mg/L y en los órganos es de 6.4 mg/kg.

Un individuo de estatura y complexión media contiene en su organismo de 120 a 150 mg de cobre. En los niños y lactantes la proporción es mucho mayor.

La mayoría de las personas piensa o cree que el cobre es dañino para la salud o bien es el causante de algunas enfermedades. A continuación se hace referencia a dos enfermedades, la de Menkes y la de Wilson, que se relacionan

con el cobre ya sea por una falta de este o bien por problemas de metabolismo. La enfermedad de MENKES es una enfermedad genética recesiva ligada al sexo, en la que existe un defecto en el transporte de cobre por la placenta y una alteración en la absorción intestinal de este mineral. Su frecuencia es de 1 caso por cada 50.000 a 100.000 nacimientos. Esta enfermedad se caracteriza por una deficiencia o falta severa de cobre que se inicia antes del nacimiento. Los sujetos presentan un deterioro mental progresivo, daño neurológico, hipotermia, hipotonía, disminución de la densidad ósea (osteoporosis), menor crecimiento, hipo pigmentación de la piel y del pelo, pelo retorcido, y alteraciones del tejido conectivo. El fallecimiento se produce habitualmente antes de los 4 años de edad. El tratamiento precoz con inyecciones de cobre-histidina logra disminuir la sintomatología y prolongar la vida.

La enfermedad de WILSON es un desorden genético autosómico recesivo en la que existe un defecto del metabolismo del cobre. Su frecuencia es de aproximadamente 1 caso por cada 30.000 nacimientos. En esta enfermedad existe una disminución marcada de la excreción biliar de cobre y una deficiencia en la incorporación de cobre a la ceruloplasmina. Esto lleva a un progresivo aumento del contenido de cobre hepático y en forma secundaria en los ganglios basales del cerebro y en la córnea. Las manifestaciones de esta enfermedad no aparecen antes de los 5 años de edad, pudiendo incluso iniciarse en la adolescencia o incluso en el adulto joven.

La acumulación de cobre en el hígado lleva a un daño progresivo de este órgano cuya expresión más severa es la cirrosis hepática. El depósito de cobre en el sistema nervioso central produce un daño neurológico, que en algunos aspectos se parece a la enfermedad de Parkinson, y que puede acompañarse de manifestaciones psiquiátricas. Al nivel de la córnea la acumulación de cobre se aprecia como un anillo parduzco pericórneal (anillo de Kayser-Fleisher). El daño a los tejidos se puede disminuir sometiendo en forma temprana a los pacientes a una dieta con bajo contenido de cobre, junto con una terapia con

compuestos que disminuyan la absorción de cobre (el más usado es el cinc) y medicamentos que favorezcan la eliminación del exceso de cobre (drogas quelantes) (ICBF, 1992).

**1.2.4 Iones manganeso.** El manganeso está relacionado con los procesos de la reproducción, síntesis de hormonas sexuales y en el metabolismo de las grasas, hidratos de carbono y vitamina B1. Es esencial para el normal funcionamiento del cerebro y el crecimiento de los huesos.

Son fuentes de manganeso el té, los vegetales, las legumbres, los cereales y el arroz. Se recomiendan de 2 a 5 miligramos al día.

La deficiencia de manganeso es extremadamente rara, solamente se ha observado en personas incapaces de metabolizarlo (ICBF, 1992).

En la **tabla 13**, se muestra la composición de macro y micronutrientes de algunos derivados del cacao y productos derivados. No hay ninguna información acerca del contenido de micronutrientes en la semilla.

**Tabla 13.** Comparación de la composición en macro y micronutrientes de derivados del cacao.

<b>Contenidos por 100 g</b>	<b>Cacao polvo desengrasado</b>	<b>Chocolate</b>	<b>Chocolate con leche</b>	<b>Chocolate blanco</b>	<b>Soluble de cacao</b>
Energía (kcal)	255	449-534	511-542	529	360-375
Proteínas (g)	23	4.2-7.8	6.1-9.2	8	4-7
Hidr. de Carbono disponibles (g)	16	47-65	54.1-60	58.3	78-82
Almidón (g)	13	3'1	1.1	-	2-8
Azúcares (g)	3	50.1-60	54.1-56.9	58.3	70-78
Fibra (g)	23	5.9-9	1.8	-	7
Grasas (g)	11	29-30'6	30-31.8	30.9	2.5-3.5
- Saturadas (g)	6.5	15.1-18.2	17.6-19.9	18.2	1.5-2.1
- Monoinsaturadas (g)	3.6	8.1-10	9.6-10.7	9.9	0.8-1.1
- Poliinsaturadas (g)	0.3	0.7-1.2	1.0-1.2	1.1	0.1
Sodio (g)	0.2	0.02-0.08	0.06-1.12	0.11	0.07-0.13
Potasio (g)	2	0.4	0.34-0.47	0.5	0.44-0.9
Calcio (mg)	150	35-63	190-214	270	30-300
Fósforo (mg)	600	167-287	199-242	230	140-320
Magnesio (mg)	500	100-113	45-86	26	100-125
Vit A (U.I)	3	3	150-165	180	1
Vit E (mg)	1	0.25-0.3	0.4-0.6	1.14	0.2
Vit B1(mg)	0.37	0.04-0.07	0.05-0.1	0.08	0.07
Vit B6 (mg)	0.16	0.04-0.05	0.05-0.11	0.07	0.03
Ac. fólico (m g)	38	6-10	5-10	10	7.6
U.I.: Unidades internacionales. (1 U.I. de vitamina A equivale a 0,6 m g de b -caroteno puro)					

Fuente: [www.chococao.com](http://www.chococao.com) (Septiembre 2000)

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 MUESTREO Y TRATAMIENTO DE MUESTRAS DE CACAO

La selección de los clones más cultivados en Santander se realizó teniendo en cuenta su productividad y alta calidad que según CORPOICA son: ICS 95, ICS 60, ICS 39, CAP 34 y CCN 51 , Estos 5 clones se encuentran sembrados en el centro de investigación de CORPOICA en la finca el Venado del municipio de “El Carmen” departamento de Santander. Fueron cultivados en parcelas sin fertilización (testigo) y en parcelas con fertilización química a las cuales se adicionaron 600 Kg de NPK (Nitrógeno, Fósforo y Potasio). Esta adición se fraccionó en partes iguales y se aplicó dos veces al año, al comienzo del periodo de las lluvias en cada semestre.

De cada una de las parcelas se tomaron mazorcas de cacao que fueron desengrulladas y sometidas al proceso de fermentación en cajón, haciendo remoción de granos cada 24 horas durante 6 días, al final del los cuales se sometieron a secado en una casa elba, hasta humedad cercana al 7%. De estas muestras se tomó 1 Kg/clon para un total de 30 muestras.

En las **figuras 15 y 16** se muestra el proceso de fermentación y secado.

**Figura 15.** Fermentación en cajón.



**Figura 16.** Secador tipo elba, con carros corredizos.



Las muestras obtenidas fueron transportadas al laboratorio de alimentos (CICTA), debidamente empacadas para evitar absorción de humedad. Una vez en el laboratorio, las semillas de cacao se descascarillaron, se molieron en un molino tipo Wiley y los productos obtenidos se almacenaron en bolsas plásticas de alta densidad hasta su utilización.

## **2.2 ANÁLISIS DE ELEMENTOS MENORES**

Las muestras fermentadas y secas fueron analizadas en cuanto a su contenido Fe, Zn, Mn y Cu, por vía seca. Después de incinerar la muestra en una mufla a 475°C, las cenizas se trataron con una solución de ácido clorhídrico 1:1, llevando la muestra casi hasta sequedad, luego se lavó con agua caliente, se filtró y posteriormente se aforó a 50 mL. En la solución final, se determinaron por Absorción Atómica los elementos, en el espectrofotómetro Hach Dr 2000, según los Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos, del Ministerio de Agricultura y la Gobernación de Santander, en el cual se desarrollaron los análisis. Todos los análisis, se realizaron por triplicado.

## **2.3 ANÁLISIS BROMATOLOGICO**

El análisis bromatológico, se realizó en el laboratorio de alimentos (CICTA)-Guatiguará y comprendió la determinación de Humedad, Cenizas, Grasa, Fibra, Proteína y Cascarilla.

**2.3.1 Determinación de humedad.** La determinación de humedad se efectuó siguiendo el procedimiento de la A.O.A.C. 7.003/84 y 930.15/90 adaptados para lo cual se pesaron entre 1-2 g de muestra, que se calentaron a 105°C hasta que se logró peso constante. Se dejó enfriar en el desecador, se pesó la muestra seca y finalmente se calculó el porcentaje de humedad.

**2.3.2 Determinación de grasa.** Para el análisis de grasa fue necesario realizar un procedimiento previo. Se pesaron 2 g de muestra que se mezclaron con 23 ml de agua destilada caliente y 28 ml de HCl 1:1. La mezcla obtenida se llevó a ebullición durante 15 min, luego se filtró y se lavó con agua destilada hasta eliminar cloruros. Luego se secó el papel filtro en la mufla y se siguió con

el procedimiento de la A.O.A.C. 7.060/84 y 920.39/90 adaptados; que consiste en: pasar la muestra seca a un dedal de papel, taparla con algodón y colocarla en el extractor Soxhlet y someterla a un proceso de extracción con hexano durante 8 horas. Posteriormente, se recuperó la mayor cantidad de disolvente por destilación, se secó y se dejó enfriar para luego pesar el balón con extracto. Finalmente se calculó el porcentaje de grasa. El residuo se guardó para el análisis posterior de fibra.

**2.3.3 Determinación de fibra.** La determinación de fibra se efectuó siguiendo el procedimiento de la norma ICONTEC 668 y la A.O.A.C. 7.066/84 y 962.09/90 adaptados: Se pesó 1 g de muestra desengrasada, se transfirió al recipiente de digestión, se adicionó 100 mL de ácido sulfúrico al 1.25% y 5 gotas de alcohol amílico, luego se dejó hervir por 30 min. Se filtró en caliente utilizando un embudo de porcelana (Buchner) provisto de lienzo, se lavó varias veces con agua caliente hasta que el pH del agua de lavado fue neutro. Posteriormente se regresó el residuo del lienzo al vaso con 100 mL de NaOH 1.25% y se dejó hervir durante 30 min. Luego se filtró en caliente hasta pH neutro y se pasó el residuo del lienzo a un vaso utilizando un frasco lavador, se filtró el contenido del vaso y se lavó con alcohol etílico, se llevó a la estufa a 130°C por 2 horas y se dejó enfriar en desecador, luego se llevó a la mufla a 500-600°C por 1 hora, se dejó enfriar en desecador y se pesó. Finalmente se calculó el porcentaje de fibra a partir de la pérdida de peso.

**2.3.4 Determinación de cenizas.** La determinación de cenizas se efectuó siguiendo el procedimiento de la A.O.A.C. 7.009/84 y 942.05/90 adaptados: Se taró el crisol de porcelana y se pesó. Se pesó entre 1-2 g de muestra en la balanza analítica. Luego se llevó el crisol a la mufla, se calcinó al rojo oscuro (500-550°C) durante 4 horas. Posteriormente se dejó enfriar y se transfirió el crisol directamente al desecador. Finalmente se pesaron las cenizas y se calculó el porcentaje de cenizas.

**2.3.5 Determinación de proteína.** La determinación de proteína se efectuó siguiendo el método de Kjeldahl-Gunning-Arnold adaptado Griffin 1995: Se pesó una muestra entre 0.5-2 g, se colocó en un tubo Kjeldahl, se añadió 1 tableta catalizadora y 10 mL de ácido sulfúrico concentrado, se colocó el tubo en el digestor y se calentó durante 1 hora. Luego se dejó enfriar y se agregó 50 mL de agua destilada, se colocó el tubo con muestra digerida y diluida en el digestor Buchi. Se agregó NaOH 32% hasta que la rejilla de volumen de equipo marco 150 mL y en la salida se colocó un erlenmeyer con 50 mL de ácido bórico y 3 gotas de indicador mixto, Posteriormente se destiló con vapor y se recogió en la solución de bórico hasta un volumen de 200 mL. El destilado se tituló con HCl 0.1 N hasta que el color cambió de verde a violeta. Finalmente se calculó el porcentaje de nitrógeno y posteriormente el porcentaje de proteína utilizando la siguiente relación:

$$\%P = N_{(\text{total})} * 6.25$$

Todas las determinaciones anteriormente descritas se llevaron a cabo por triplicado.

## **2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Para analizar estadísticamente los datos, se aplicó un análisis univariado: utilizando el programa estadístico SPSS para Windows versión 10.0, en el cual se realizó el análisis de varianza Anova, que es una técnica estadística de contraste de hipótesis donde se comparan medias. Con esta técnica se analizó globalmente la influencia de cada variable independiente, generándose un único nivel de significación. Posteriormente, para complementar el nivel de significación se realizó la prueba de Tukey con la cual se estima la similitud entre los promedios de las variables.

Para llevar a cabo este análisis fue necesario conseguir normalidad y homogeneidad de varianzas; para tal fin; los datos originales fueron transformados de la siguiente manera:

- A los datos expresados en porcentaje como CAS, HUM, GRA, FIB y CEN, se les aplicó la siguiente función:  $\text{Arcsen}\sqrt{\%}$ , donde % es la fracción del valor del porcentaje obtenido.
- A los datos obtenidos en las otras variables como Cu, Zn, Mg y Fe se les aplicó  $\text{Log}_{10}$

### 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con el fin de establecer el contenido de micronutrientes presentes en los clones objeto del presente estudio, los frutos del cacao fueron tratados y posteriormente analizados por Absorción Atómica. Para complementar la caracterización de los clones, se realizó también un estudio bromatológico de los mismos, teniendo en cuenta los siguientes parámetros: humedad o sustancias volátiles, grasa, cenizas o material mineral, proteína bruta, fibra bruta y cascarilla.

#### 3.1 ANÁLISIS DE MICRONUTRIENTES

En la **tabla 14**, se presentan los valores obtenidos para los diferentes micronutrientes determinados en los clones.

**Tabla 14.** Contenido de micronutrientes (mg/Kg) en los diferentes clones de cacao.

FERTILIZACION	CLON	ELEMENTOS			
		Cu	Zn	Mn	Fe
<b>SIN NPK (Testigo)</b>	<b>CCN 51</b>	10.3±0.3	40.1±0.1	6.9±1.2	20.1±1.0
	<b>CAP 34</b>	12.5±0.6	30.7±2.6	10.5±1.3	19.6±0.4
	<b>ICS 39</b>	14.9±1.8	36.2±1.4	8.5±0.2	23.6±0.4
	<b>ICS 60</b>	16.0±1.0	39.0±0.8	6.8±0.5	22.7±2.4
	<b>ICS 95</b>	19.9±2.3	29.8±1.3	17.3±0.6	22.00±1.2
<b>CON NPK</b>	<b>CCN 51</b>	12.2±1.2	33.8±0.2	13.1±3.4	17.8±4.6
	<b>CAP 34</b>	12.4±1.0	36.0±4.3	9.2±0.9	18.9±4.1
	<b>ICS 39</b>	12.0±1.9	45.6±1.2	7.0±0.3	20.8±5.4
	<b>ICS 60</b>	14.2±3.1	37.2±7.1	8.3±1.0	18.2±1.2
	<b>ICS 95</b>	18.1±5.1	35.5±3.4	11.3±1.0	20.1±5.9

A estos datos se les realizó un análisis estadístico multivariado para: a) observar la correlación entre los valores de micronutrientes encontrados en los clones de cacao cultivados en suelo sin fertilizar y en suelo fertilizado y b) observar el comportamiento de las micronutrientes en los diferentes materiales clonales. Al aplicar este análisis estadístico los datos se transformaron mediante la función  $\text{Log}_{10}$  para obtener normalidad y homogeneidad de varianzas en todos los grupos.

**3.1.1 Evaluación de micronutrientes en función del tipo de suelo.** En la **tabla 15**, se observa el modelo estadístico obtenido para los *datos transformados*, del cual se partió para el análisis completo de las variables. En la **tabla 16** se muestran los valores después de aplicar el Anova.

**Tabla 15.** Modelo estadístico de los tratamientos con los datos transformados, comparación de medias.

ELEMENTO		COBRE	ZINC	MANGANESO	HIERRO
TRATAMIENTOS					
CON FERTILIZACIÓN					
	Media	1.13	1.57	0.98	1.27
	N	15	15	15	15
	Desv.Estd	9.5E-2	6.2E-2	0.11	9.1E-2
SIN FERTILIZACIÓN (testigo)					
	Media	1.16	1.54	0.97	1.33
	N	15	15	15	15
	Desv.Estd	0.10	5.8E-2	0.16	3.9E-2
TOTAL					
	Media	1.14	1.56	0.97	1.30
	N	30	30	30	30
	Desv.Estd	9.9E-2	6.0E-2	0.14	7.5E-2

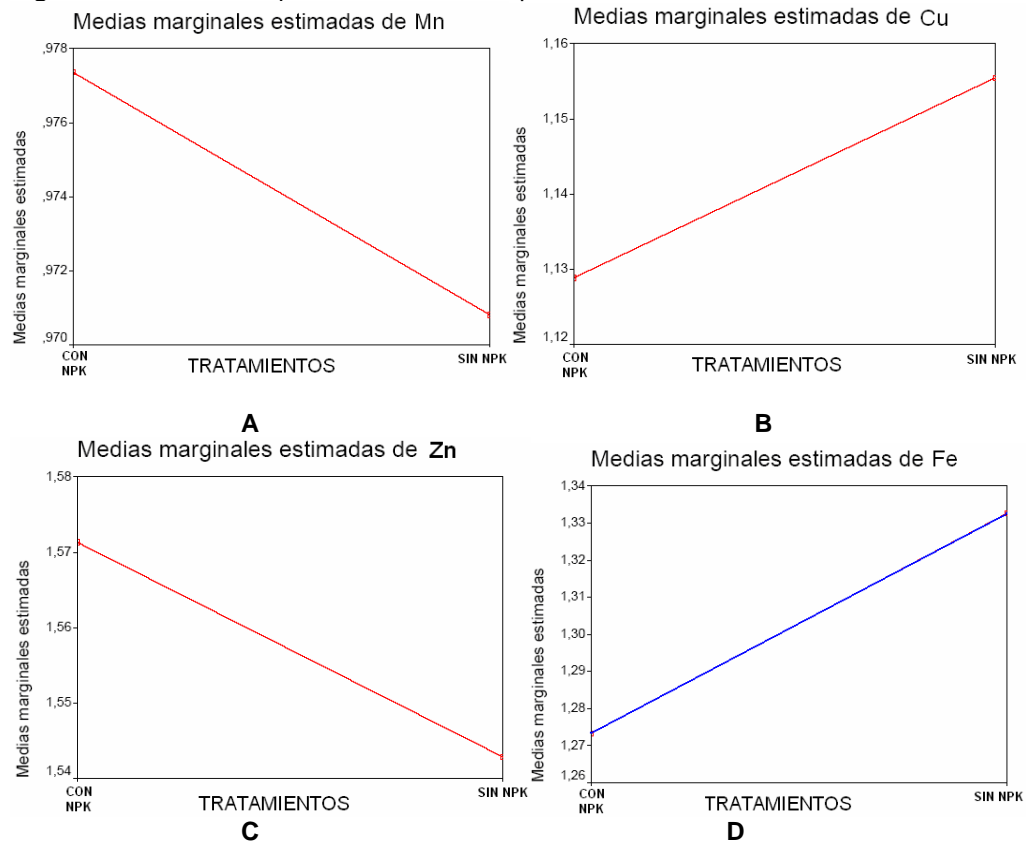
**Tabla 16.** Anova para tratamientos, en micronutrientes.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Cu*TRAT	Inter- grupos(Combinadas)	0.005	1	0.005	0.532	0.472
	Intra- grupos	0.281	28	0.010		
	Total	0.286	29			
Zn*TRAT	Inter- grupos(Combinadas)	0.006	1	0.006	1.712	0.201
	Intra- grupos	0.100	28	0.004		
	Total	0.106	29			
Mn*TRAT	Inter- grupos(Combinadas)	0.000	1	0.000	0.017	0.897
	Intra- grupos	0.529	28	0.019		
	Total	0.529	29			
Fe*TRAT	Inter- grupos(Combinadas)	0.026	1	0.026	5.411	<b>0.027</b>
	Intra- grupos	0.137	28	0.005		
	Total	0.163	29			

\* Los tratamientos con  $P \leq 0.05$  Anova, difieren significativamente.

Se observa que de los cuatro micronutrientes evaluados, el Fe es el único elemento que presentó una diferencia significativa con un P de 0.027, tal como se corrobora en los gráficos de perfil (**figura 17d**).

**Figura 17.** Gráficos de perfil de tratamientos para micronutrientes.



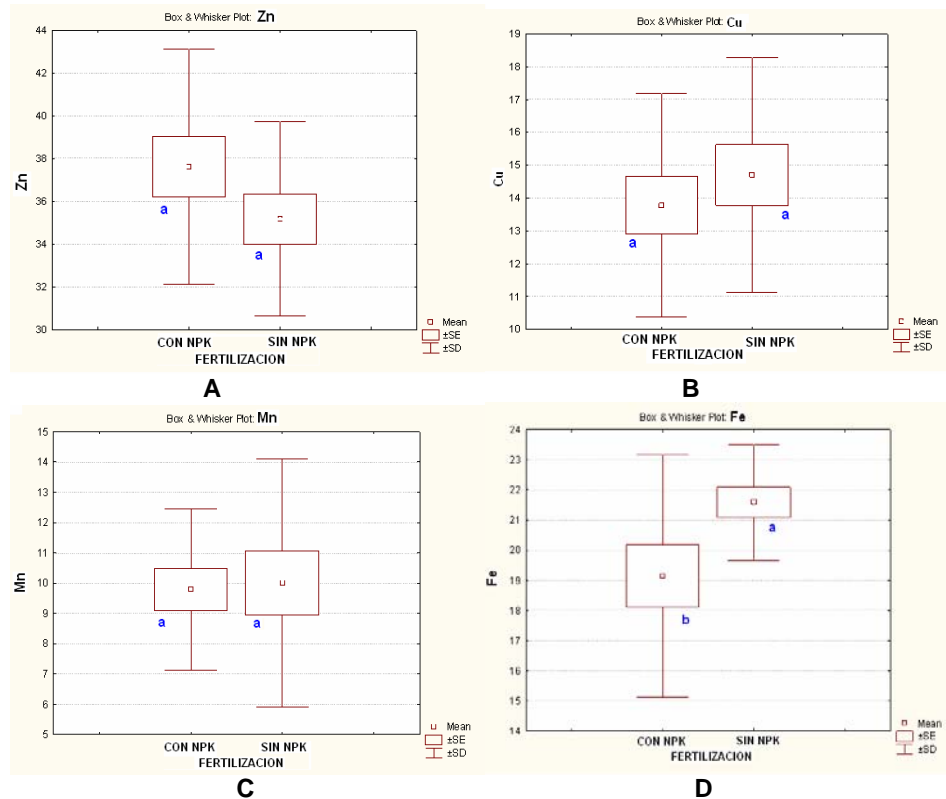
En la **tabla 17** se presentan los promedios de los contenidos reales<sup>2</sup> de micronutrientes, para cada uno de los tratamientos. Con estos datos se construyeron los diagramas de cajas (**figura 18**), encontrándose que las diferencias mas significativas se presentan en el contenido de hierro (**figura 18d**).

**Tabla 17.** Efecto del tratamiento sobre el contenido nutricional en los clones de cacao

ELEMENTO TRATAMIENTOS	COBRE (mg/Kg)	ZINC (mg/Kg)	MANGANESO (mg/Kg)	HIERRO (mg/Kg)
Con fertilización	13.8 ±3.4 a*	37.6 ±5.5 a	9.8 ±2.6 a	19.2 ±4.0 b
Sin fertilización	14.7 ±3.6 a	35.2 ±4.6a	10.0 ±4.1a	21.6 ±1.9 a

\* Los tratamientos con la misma letra no difieren significativamente  $P \leq 0.05$  Anova.

**Figura 18.** Diagramas de cajas, para tratamientos en micronutrientes: (A) zinc, (B) cobre, (C) manganeso, (D) hierro.



<sup>2</sup> Promedio de contenido real de micronutriente =  $\Sigma$ contenido de micronutriente por clon/N. Donde N= número de muestras en los dos tratamientos.

Lo anterior significa que en la absorción de micronutrientes por parte de los clones el efecto del tratamiento de fertilización es notorio sobre la absorción del hierro. No se observaron diferencias significativas para los otros elementos. Aquí es importante tener en cuenta que el suelo solo fue fertilizado con nitrógeno, fósforo y potasio.

**3.1.2 Evaluación de micronutrientes en los diferentes materiales clonales de cacao.** En este caso se evalúa la variación de los micronutrientes en cada uno de los clones, sin importar el tratamiento del suelo. Se pretende observar cuales de los clones poseen características similares, mediante la hipótesis de la comparación de medias.

En la **tabla 18**, se presenta el modelo estadístico obtenido con los datos transformados, basado en la comparación de medias.

**Tabla 18.** Modelo estadístico materiales clonales, para micronutrientes, con los datos transformados, comparación de medias.

ELEMENTO		COBRE	ZINC	MANGANESO	HIERRO
CLONES					
CAP 34	Media	1.09	1.52	0.99	1.28
	N	6	6	6	6
	Desv.Estd	2.6E-2	5.6E-2	5.2E-2	6.1E-2
CCN 51	Media	1.05	1.57	0.97	1.27
	N	6	6	6	6
	Desv.Estd	4.8E-2	4.1E-2	0.17	8.4E-2
ICS 39	Media	1.12	1.61	0.89	1.34
	N	6	6	6	6
	Desv.Estd	7.7E-2	5.6E-2	5.0E-2	8.5E-2
ICS 60	Media	1.18	1.58	0.87	1.31
	N	6	6	6	6
	Desv.Estd	7.2E-2	5.3E-2	6.4E-2	6.2E-2
ICS 95	Media	1.27	1.51	1.14	1.32
	N	6	6	6	6
	Desv.Estd	9.1E-2	5.0E-2	0.10	8.3E-2
TOTAL	Media	1.14	1.56	0.97	1.30
	N	30	30	30	30
	Desv.Estd	9.9E-2	6.04E-2	0.14	7.5E-2

Al igual que en el caso anterior, se realizó el Anova para observar la significancia entre los materiales clonales. Se observa que hay diferencias significativas en la absorción de cobre, zinc y manganeso, mientras que con el hierro no se encuentran diferencias significativas (**tabla 19**).

Cuando se alcanza la significación en alguno de los factores estudiados, como fue en el caso del cobre, manganeso y zinc, es lógico preguntarse cuál de las hipótesis alternativas es la que origina la significación. Esto es equivalente a preguntarse qué media o medias son diferentes entre sí.

**Tabla 19.** ANOVA para materiales clonales.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Cu*CLON	Inter- grupos(Combinadas)	0.14	4	0.043	9.702	<b>0.000*</b>
	Intra- grupos	0.112	25	0.004		
	Total	0.286	29			
Zn*CLON	Inter- grupos(Combinadas)	0.040	4	0.010	3.810	<b>0.015</b>
	Intra- grupos	0.066	25	0.003		
	Total	0.106	29			
Mn*CLON	Inter- grupos(Combinadas)	0.282	4	0.071	7.154	<b>0.001</b>
	Intra- grupos	0.247	25	0.010		
	Total	0.529	29			
Fe*CLON	Inter- grupos(Combinadas)	0.019	4	0.005	0.813	0.529
	Intra- grupos	0.145	25	0.006		
	Total	0.163	29			

\* Los tratamientos con  $P \leq 0.05$  Anova, difieren significativamente

Para resolver este interrogante se aplican procedimientos "a posteriori", en este caso se utilizó el Tukey, para comparar más de dos medias. Este método sin embargo funciona eficientemente, si previamente el factor en estudio ha resultado significativo en alguna técnica multivariante previa, como en este caso el Anova.

En las **tablas 20, 21 y 22** se muestran los valores resultantes de la aplicación del método "a posteriori", los cuales se analizan para determinar entre cuales clones hay similitudes y que subgrupos se forman.

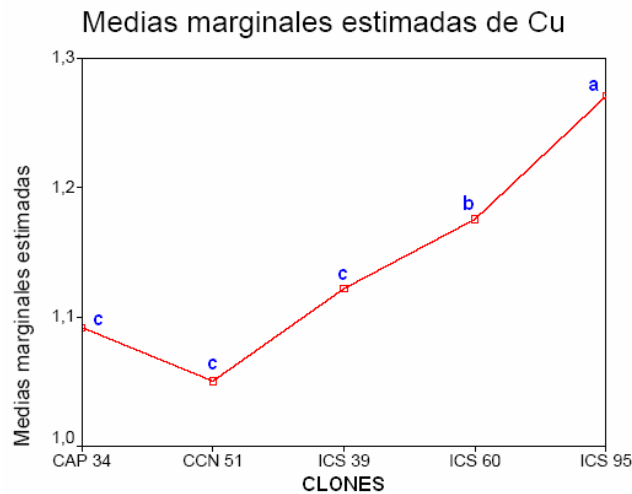
**Tabla 20.** Análisis “a posteriori” para la variable Cu en los diferentes materiales clonales.

Tukey		VARIABLE Cu		
CLONES	N	SUBGRUPO		
		1	2	3
CCN 51	6	1.0504792 c*	1.1755810 b	1.2707589 a
CAP 34	6	1.0919125 c		
ICS 39	6	1.1220547 c		
ICS 60	6			
ICS 95	6			

\*Los valores con la misma letra, pertenecen a un subgrupo sin diferencias significativas.

- Para el **cobre** se forman 3 subgrupos con características diferentes, es decir, el subgrupo 1 conformado por el CCN 51, CAP 34 e ICS 39, es diferente del subgrupo 2 conformado por el ICS 60 y diferente al subgrupo 3 conformado por el ICS 95. Esta división se observa claramente al aplicar los gráficos de perfil (**la figura 19**).

**Figura 19.** Gráfico de perfil de materiales clonales para Cu; de las medias estimadas.



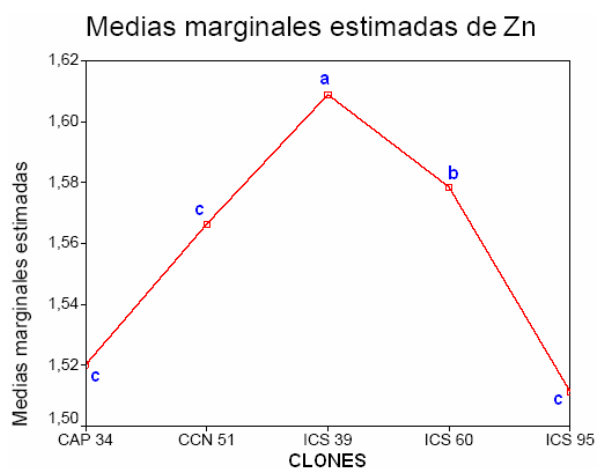
- Para el **Zinc** (**tabla 21**) se observa la formación de 3 subgrupos, el subgrupo 1 conformado por el ICS 95 51, CAP 34 e CCN 51, el subgrupo 2 conformado por el ICS 60 y el subgrupo 3 conformado por el ICS 39. En la figura 20 se presenta la grafica d perfil para este elemento.

**Tabla 21.** Análisis “a posterior” para la variable Zn en los diferentes materiales clonales.

Tukey		VARIABLE Zn		
CLONES	N	SUBGRUPO		
		1	2	3
ICS 95	6	1.5114068 c*	1.5785188 b	1.6089005 a
CAP 34	6	1.5201594 c		
CCN 51	6	1.5663769 c		
ICS 60	6			
ICS 39	6			

\*Los valores con la misma letra, pertenecen a un subgrupo sin diferencias significativas.

**Figura 20.** Gráfico de perfil de materiales clonales para Zn; de las medias estimadas.



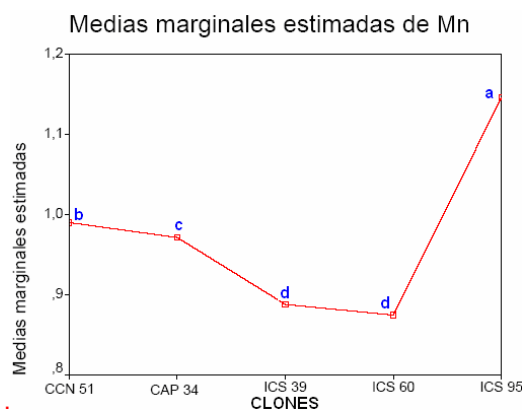
- En la **tabla 22** y en la **figura 21**, se observa que para el Manganeso se forman 4 subgrupos: el primero conformado por el ICS 60 e ICS 39, el segundo por el CCN 51, tercero conformado por el CAP 34, y el subgrupo 4 conformado por el ICS 95. En el gráfico de perfil para las medias estimadas se observa claramente esta división.

**Tabla 22.** Análisis “a posterior” para la variable Mn en los diferentes materiales clonales.

Tukey		VARIABLE Mn			
CLONES	N	SUBCONJUNTO			
		1	2	3	4
ICS 60	6	0.8747124 d*	0.9714986 c	0.9900818 b	1.1460032 a
ICS 39	6	0.8881250 d			
CAP 34	6				
CCN 51	6				
ICS 95	6				

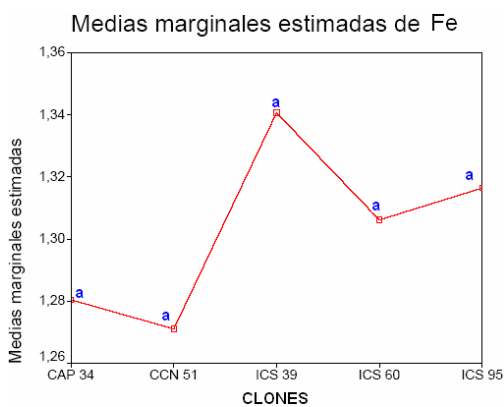
\*Los valores con la misma letra, pertenecen a un subgrupo sin diferencias significativas.

**Figura 21.** Gráfico de perfil de materiales clonales para Mn; de las medias estimadas.



Para el hierro como no se observaron diferencias significativas, se asume que todos los clones se comportan de manera similar, como se aprecia en la **figura 22**.

**Figura 22.** Gráfico de perfil de materiales clonales para Fe; de las medias estimadas.



En la **tabla 23**, se presentan los promedios de los contenidos reales de micronutrientes<sup>3</sup>, para cada clon. Es importante destacar que el ICS 95 es el que presenta el mayor contenido de cobre y manganeso, mientras que el ICS 39 es el que mejor absorbe el zinc y el hierro, elementos muy importantes para

<sup>3</sup> Promedio de contenido real de micronutriente =  $\Sigma$  contenido de micronutriente para los dos tratamientos/2

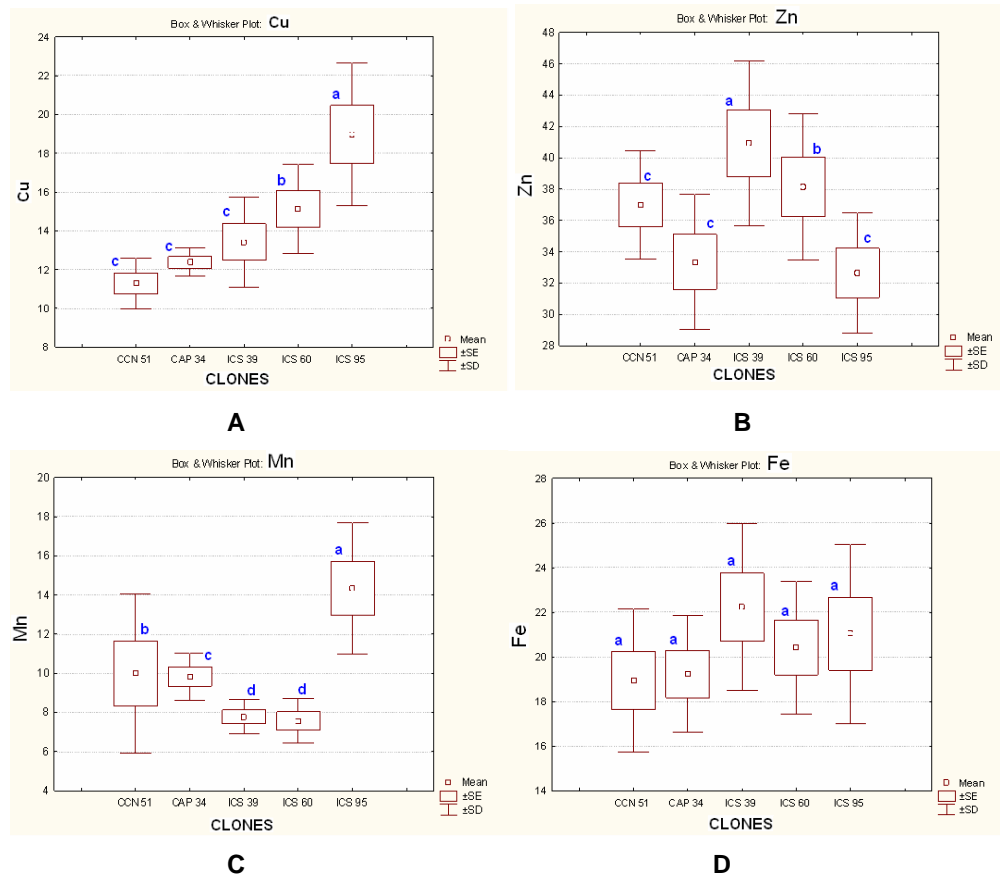
la dieta diaria del ser humano. Lo anterior se corrobora con los diagramas de caja representados en la **figura 23**.

**Tabla 23.** Efecto de los micronutrientes en los diferentes clones de cacao.

ELEMENTO CLONES	COBRE	ZINC	MANGANESO	HIERRO
	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)
CCN 51	10.9±0.7 c*	37.0 ±3.4c	10.0± 4.1b	19.6±4.2a
CAP 34	12.4±0.7 c	33.4 ±4.3c	9.8 ±1.2c	19.2±2.6a
ICS 39	13.4±2.3 c	40.9±5.2 a	7.8±0.9 d	22.2±3.7a
ICS 60	15.2± 2.3b	38.1±4.7 b	7.6±1.1d	20.4±2.9a
ICS 95	19.0 ±3.4a	32.6 ±3.5c	14.3±3.0 a	20.7±0.6a

\*Los tratamientos con la misma letra no difieren significativamente  $P \leq 0.05$  Tukey.

**Figura 23.** Diagramas de cajas, para clones en micronutrientes. A) Cu, B) Zn, C) Mn, D) Fe.



**3.1.3 Evaluación de la interacción Clon\*Tratamiento, para micronutrientes.** En esta interacción se observa (**tabla 24**) el comportamiento de cada uno de los micronutrientes en conjunto (tratamiento y clon).

**Tabla 24.** Interacción Trat\*Clon para micronutrientes.

	<b>COBRE</b>	<b>ZINC</b>	<b>MANGANESO</b>	<b>HIERRO</b>
<b>TRATAMIENTO</b>	ns	ns	ns	*
<b>CLON</b>	**	*	*	ns
<b>TRAT*CLON</b>	ns	**	**	ns

Significancia de la ANOVA \*P<0,05; \*\*P<0,001 y ns no significativo.

Para la interacción altamente significativa que se presenta en el zinc y manganeso, se ve influenciada por las características que presenta cada tipo de clon, es decir, independientemente del tratamiento al cual se aplica estos presentarán unas características definidas en la absorción de micronutrientes como cobre zinc y manganeso.

### **3.2 ANÁLISIS BROMATOLÓGICO**

Este análisis se define como el conjunto de determinaciones que describen la composición química de una sustancia alimenticia. En la **tabla 25**, se reportan los valores obtenidos en el presente trabajo, junto con los valores de cascarilla, parámetro que influye apreciablemente en el costo del grano.

**Tabla 25.** Composición química de los clones de cacao.

FERTILIZACION	CLON	ANALISIS FISICO-QUIMICO (%)					
		CAS	HUM	GRA	FIB	CEN	PRO
<b>SIN NPK (Testigo)</b>	<b>CCN 51</b>	14.6± 0.5	6.5± 4.0E-2	50.0± 5.5E-2	8.7± 4.2E-2	2.8± 2.5E-2	11.8± 0.21
	<b>CAP 34</b>	14.4± 0.4	7.0± 3.6E-2	50.4± 0.47	7.9± 2.5E-2	2.7± 2.0E-2	12.0± 3.8E-2
	<b>ICS 39</b>	13.4± 0.4	6.4± 4.9E-2	54.0± 4.9E-2	8.2± 3.1E-2	2.9± 3.7E-2	12.3± 2.9E-2
	<b>ICS 60</b>	16.6± 0.5	6.3± 0.51	52.0± 3.1E-2	8.3± 4.7E-2	2.8± 3.2E-2	13.7± 9.3E-2
	<b>ICS 95</b>	17.3± 0.5	6.6± 5.2E-2	51.8± 5.4E-2	6.6± 2.6E-2	3.1± 5.2E-2	12.5± 9.0E-2
<b>CON NPK</b>	<b>CCN 51</b>	15.9± 0.8	6.1± 0.4	51.5± 0.4	7.4± 9.0E-3	2.8± 0.2	11.8± 0.1
	<b>CAP 34</b>	14.0± 1.8	6.0± 0.5	53.0± 0.7	9.7± 8.0E-3	2.7± 0.2	12.5± 0.1
	<b>ICS 39</b>	13.7± 0.6	6.8± 0.2	53.3± 1.0	8.1± 8.0E-3	2.7± 0.1	13.2± 0.8
	<b>ICS 60</b>	13.7± 0.7	7.0± 0.6	53.9± 0.7	7.8± 6.0E-3	2.9± 7.7E-2	12.9± 0.4
	<b>ICS 95</b>	16.3± 0.3	5.9± 0.2	53.9± 0.2	6.0± 5.0E-3	2.9± 0.1	12.5± 0.5

A estos datos se les aplicó el mismo tratamiento que a los micronutrientes para:

a) observar la correlación entre la composición química y el contenido de cascarilla de los clones de cacao cultivados en suelo sin fertilizar y en suelo fertilizado y b) observar el comportamiento de la composición química en los diferentes materiales clones.

Al aplicar este análisis estadístico los datos se transforman mediante la función  $Arcsen\sqrt{\%}$  para obtener normalidad y homogeneidad de varianzas en todos los grupos.

**3.2.1. Evaluación de la composición química y cascarilla de los clones de cacao, en función del tipo de suelo.** En la **tabla 26**, se observa el modelo estadístico obtenido para los datos transformados, del cual se partió para el análisis completo de las variables (con fertilización, sin fertilización) y en la **tabla 27**, los valores resultante de la aplicación del Anova.

**Tabla 26.** Modelo estadístico de tratamientos para el análisis bromatológico, con los datos transformados, comparación de medias.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO TRATAMIENTOS	CAS	HUM	GRA	FIB	CEN	PROT
	CON FERTILIZACIÓN					
Media	22.54	14.64	46.78	16.16	9.62	18.18
N	15	15	15	15	15	15
Desv.Estd	1.17	0.67	0.62	1.34	0.25	5.11
SIN FERTILIZACIÓN						
Media	22.98	14.86	45.93	16.34	9.73	20.68
N	15	15	15	15	15	15
Desv.Estd	1.22	0.36	0.86	0.79	0.23	0.60
TOTAL						
Media	22.76	14.75	46.35	16.25	9.67	19.43
N	30	30	30	30	30	30
Desv.Estd	1.20	0.54	0.85	1.08	0.24	3.80

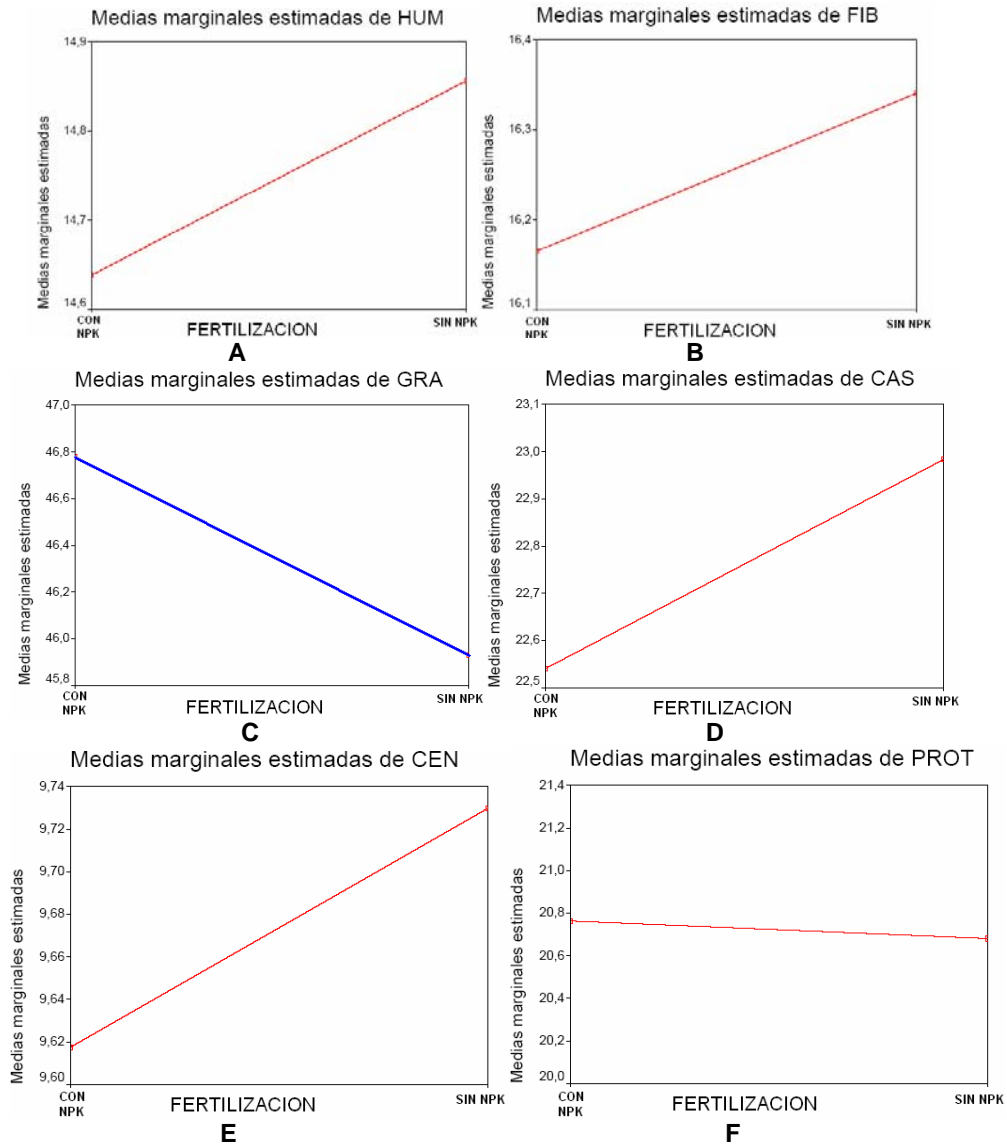
**Tabla 27.** ANOVA para tratamientos, en el análisis físico-químico.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
CAS*TRAT	Inter- grupos(Combinadas)	1.474	1	1.474	1.029	0.319
	Intra- grupos	40.105	28	1.432		
	Total	41.578	29			
HUM*TRAT (Combinadas)	Inter- grupos	0.358	1	0.358	1.229	0.277
	Intra- grupos	8.157	28	0.291		
	Total	8.515	29			
GRA*TRAT	Inter- grupos(Combinadas)	5.424	1	5.424	9.717	<b>0.004</b>
	Intra- grupos	15.6030	28	0.558		
	Total	21.055	29			
FIB*TRAT	Inter- grupos(Combinadas)	0.231	1	0.231	0.191	0.666
	Intra- grupos	33.957	28	1.213		
	Total	34.188	29			
CEN*TRAT	Inter- grupos(Combinadas)	0.095	1	0.095	1.658	0.208
	Intra- grupos	1.6033	28	0.057		
	Total	1.698	29			
PROT*TRAT	Inter- grupos(Combinadas)	0.051	1	0.51	0.151	0.701
	Intra- grupos	9.500	28	0.339		
	Total	9.551	29			

\* Los tratamientos con  $P \leq 0.05$  Anova difieren significativamente

Se encuentra que la variable grasa es la única propiedad que presenta una diferencia significativa con un P de 0.04, tal como se confirma con los gráficos de perfil (**figura 24C**).

**Figura 24.** Gráficos de perfil de tratamientos, para el análisis físico-químico. A) HUM, B) FIB, C) GRA, D) CAS, E) CEN, F) PROT.



Esta misma tendencia se observa también al analizar los datos reales mostrados en la **tabla 28** y representados en los diagramas de cajas (**figura**

25), de donde se deduce que el tratamiento con fertilización es más favorable, obteniéndose en general clones con un contenido promedio de grasa de 53.10% y un mayor contenido de proteína; en este último caso debido probablemente al efecto de la fertilización con nitrógeno que se aplicó al suelo. El contenido de fibra, humedad, ceniza y cascarilla, en cambio, fueron superiores en los clones de cacao cultivados en suelos sin fertilización.

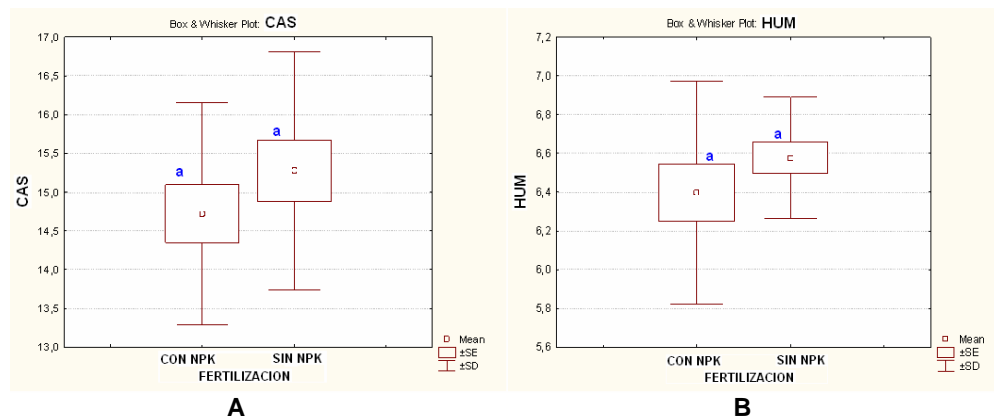
Estos resultados son de gran relevancia, si se tiene en cuenta que el contenido de grasa del grano de cacao, influye marcadamente en su aplicación a nivel industrial. Se tendría que hacer énfasis al productor sobre la importancia de fertilizar el suelo, pues muchos de ellos cultivan el cacao con prácticas agrícolas inadecuadas.

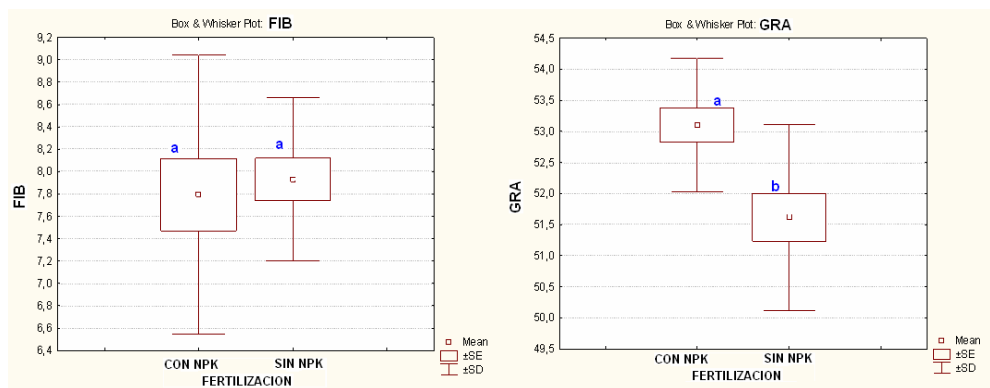
**Tabla 28.** Características físico-químicas del grano seco de 5 materiales clonales con base en dos tratamientos (con fertilización y sin fertilización).

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO	PROTEÍNA	FIBRA	GRASA	HUMEDAD	CENIZAS	CASCARILLA
	(%)					
TRATAMIENTO						
Con fertilización	12.57 ±0.54 a*	7.79 ±1.25 a	53.10 ±1.07 a	6.40 ±0.58 a	2.79 ±0.14 a	14.72 ±1.44 a
Sin fertilización (Testigo)	12.48 ±0.70 a	7.93 ±0.73 a	51.62 ±1.50 b	6.58 ±0.31a	2.86 ±0.13 a	15.28 ±1.54 a

\* Los tratamientos con la misma letra no difieren significativamente  $P \leq 0.05$  Anova.

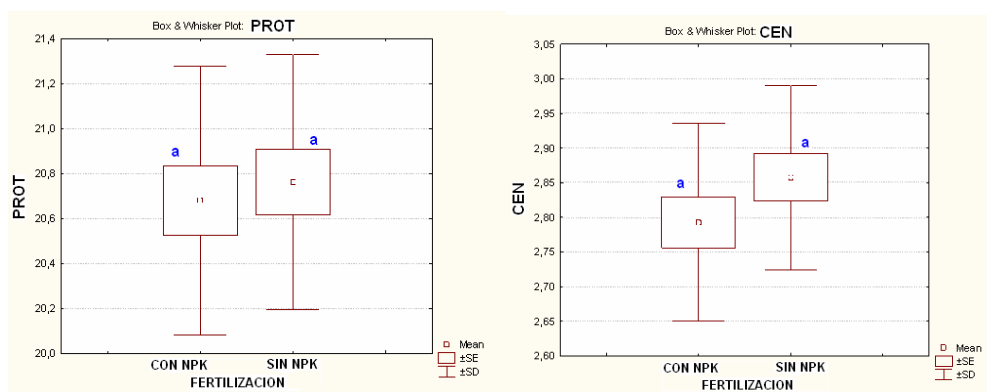
**Figura 25.** Diagramas de cajas de tratamientos para el análisis físico-químico del cacao. A) HUM, B) FIB, C) GRA, D) CAS, E) CEN, F) PROT.





**C**

**D**



**E**

**F**

### 3.2.2 Evaluación de la composición química con respecto al tipo de clon.

Este estudio se realizó con el propósito de observar las diferencias entre los clones para las diferentes variables; y comprobar la hipótesis. El modelo estadístico del cual se partió, se muestra en la **tabla 29**; A partir de estos datos se realizó el Anova y los resultados se muestran en la **tabla 30**.

**Tabla 29.** Modelo estadístico de materiales clonales, para el análisis físico-químico de los clones de cacao; con los datos transformados; comparación de medias.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO		CAS	HUM	GRA	FIB	CEN	PROT
<b>CLONES</b>							
CAP 34	Media	22.13	14.82	45.97	17.25	9.44	20.51
	N	6	6	6	6	6	6
	Desv.Estd	1.01	0.68	0.89	0.99	0.19	0.23
CCN 51	Media	22.96	14.56	45.42	16.45	9.68	20.07
	N	6	6	6	6	6	6
	Desv.Estd	0.71	0.38	0.49	0.75	0.18	0.14
ICS 39	Media	21.62	14.90	47.10	16.58	9.61	20.90
	N	6	6	6	6	6	6
	Desv.Estd	0.40	0.33	0.46	6.2E-2	0.23	0.65
ICS 60	Media	22.88	14.97	46.66	16.47	9.71	21.41
	N	6	6	6	6	6	6
	Desv.Estd	1.31	0.72	0.66	0.29	0.10	0.41
ICS 95	Media	24.22	14.48	46.62	14.52	9.93	20.72
	N	6	6	6	6	6	6
	Desv.Estd	0.50	0.49	0.66	0.42	0.24	0.30
TOTAL	Media	22.76	14.75	46.35	16.25	9.67	20.72
	N	30	30	30	30	30	30
	Desv.Estd	1.20	0.54	0.85	1.09	0.24	0.57

**Tabla 30.** Anova para clones de cacao, en el análisis físico-químico.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
CAS*CLON	Inter-grupos(Combinadas)	23.277	4	5.819	7.949	<b>0.00*</b>
	Intra- grupos	18.302	25	0.732		
	Total	41.578	29			
HUM*CLON	Inter-grupos(Combinadas)	1.088	4	0.272	0.916	0.470
	Intra- grupos	7.427	25	0.297		
	Total	8.515	29			
GRA*CLON	Inter- grupos(Combinadas)	10.490	4	2.623	6.206	<b>0.001</b>
	Intra- grupos	10.565	25	0.423		
	Total	21.055	29			
FIB*CLON	Inter-grupos(Combinadas)	25.110	4	6.278	17.29	<b>0.000</b>
	Intra- grupos	9.078	25	0.363		
	Total	34.188	29			
CEN*CLON	Inter-grupos(Combinadas)	0.746	4	0.187	4.902	<b>0.005</b>
	Intra- grupos	0.952	25	0.038		
	Total	1.698	29			
PROT*CLON	Inter-grupos(Combinadas)	5.814	4	1.454	9.723	<b>0.000</b>
	Intra- grupos	3.737	25	0.149		
	Total	9.551	29			

\* Los tratamientos con  $P \leq 0.05$  Anova, difieren significativamente

En la **tabla 30**, se observa, que las variables cascarilla, grasa, fibra, cenizas y proteína presentan una diferencia significativa como se puede observar en las **figuras 26, 27, 28, 29 y 30** respectivamente.

Para observar las diferencias que se presentaron en el Anova, se realizó el “a posterior”, con el fin de comparar las medias y observar los subgrupos que se formaron en los diferentes tipos de clones y los resultados se presentan en las **tablas 31, 32, 33, 34 y 35**.

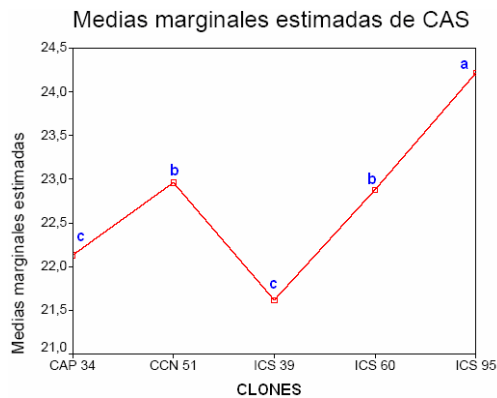
**Tabla 31.** Análisis “a posterior” para la variable cascarilla en los diferentes materiales clonales.

Tukey		VARIABLE CAS		
CLONES	N	SUBGRUPO		
		1	2	3
ICS 39	6	21.617092 <b>c*</b>	22.882092 <b>b</b> 22.962038 <b>b</b>	24.216944 <b>a</b>
CAP 34	6	22.131647 <b>c</b>		
ICS 60	6			
CCN 51	6			
ICS 95	6			

\*Los valores con la misma letra, pertenecen a un subgrupo sin diferencias significativas.

- Para la **cascarilla** se forman 3 subgrupos con características diferentes, es decir, el subgrupo 1 conformado por el ICS 39, CAP 34, es diferente del subgrupo 2 conformado por el ICS 60, ICS 51 y diferente al subgrupo 3 conformado por el ICS 95. En la **figura 26**, en el gráfico de perfil para las medias estimadas se observa esta división.

**Figura 26.** Gráfico de perfil de materiales clonales para cascarilla; de las medias estimadas.



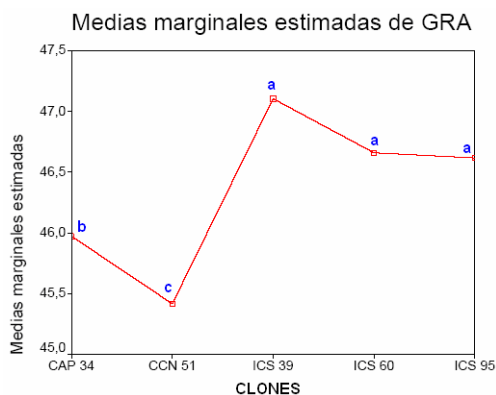
➤ En la **tabla 32** y en la **figura 27**, se observa que para la **grasa**, se forman 3 subgrupos el subgrupo 1 conformado por el CCN 51, el subgrupo 2 conformado por el CAP 34 y el subgrupo 3 conformado por el ICS 95, ICS 60 e ICS 39. En el gráfico de perfil para las medias estimadas se observa claramente ésta división.

**Tabla 32.** Análisis “a posteriori” para la variable grasa en los diferentes materiales clonales.

Tukey		VARIABLE GRAS		
CLONES	N	SUBGRUPO		
		1	2	3
CCN 51	6	45.417111 c*	45.972876 b	46.617032 a
CAP 34	6			
ICS 95	6	46.659364 a		
ICS 60	6			
ICS 39	6		47.104282 a	

\*Los valores con la misma letra, pertenecen a un subgrupo sin diferencias significativas.

**Figura 27.** Gráfico de perfil de materiales clonales para grasa; de las medias estimadas.



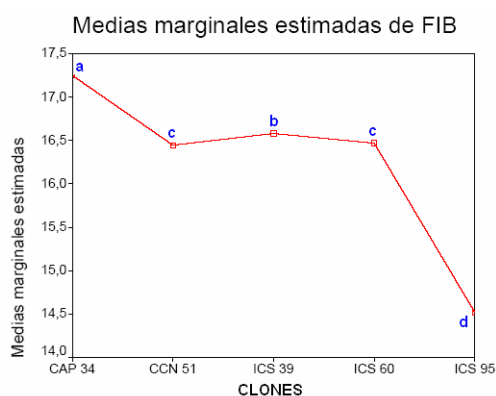
➤ Para la **fibra**, se forman 4 subgrupos, el primero conformado por el ICS 95, el segundo por el ICS 60 y CCN 51, el tercero por el ICS 39 y el subgrupo 4 conformado por el CAP 34. La **figura 28**, muestra esta división.

**Tabla 33.** Análisis “a posteriori” para la variable fibra, en los diferentes materiales clonales

Tukey		VARIABLE FIB			
CLONES	N	SUBCONJUNTO			
		1	2	3	4
ICS 95	6	14.520249 d*	16.445410 c 16.468471 c	16.580596 b	17.248915 a
CCN 51	6				
ICS 60	6				
ICS 39	6				
CAP 34	6				

\*Los valores con la misma letra, pertenecen a un subgrupo sin diferencias significativas.

**Figura 28.** Gráfico de perfil de materiales clonales para fibra; de las medias estimadas.



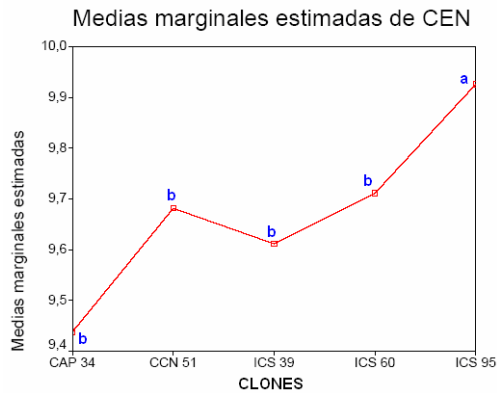
- En la **tabla 34** y la **figura 29** se observa que para la **ceniza** se forman 2 subgrupos, el subgrupo 1 conformado por el CAP 34, ICS 39, CCN 51 e ICS 60 y el conformado por el ICS 95.

**Tabla 34.** Análisis “a posteriori” para la variable ceniza, en los diferentes materiales clonales.

Tukey		VARIABLE CEN	
CLONES	N	SUBGRUPO	
		1	2
CAP 34	6	9.4381112 b*	9.9258328 a
ICS 39	6	9.6116609 b	
CCN 51	6	9.6816274 b	
ICS 60	6	9.7112101 b	
ICS 95	6		

\*Los valores con la misma letra, pertenecen a un subgrupo sin diferencias significativas.

**Figura 29.** Gráfico de perfil de materiales clonales para ceniza; de las medias estimadas

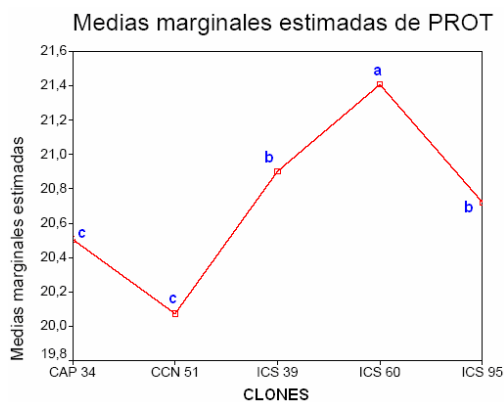


- En la **tabla 35** y **figura 30**, se observa que para la **proteína**, se forman 3 subgrupos el primero conformado por el CCN 51 y CAP 34, el segundo conformado por el ICS 95 e ICS 39, y el subgrupo 3 conformado por el ICS 60.

**Tabla 35.** Análisis “a posteriori” para la variable proteína, en los diferentes materiales clonales.

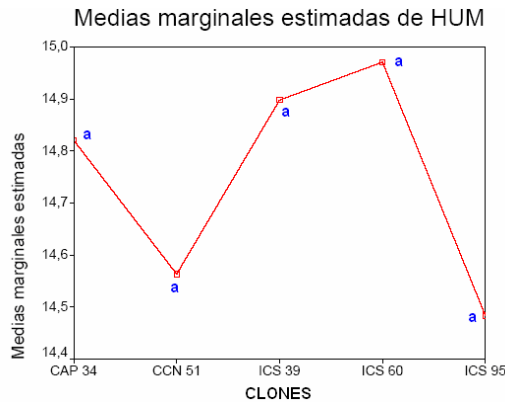
Tukey		VARIABLE PROT		
CLONES	N	SUBGRUPO		
		1	2	3
CCN 51	6	20.073440 c*		
CAP 34	6	20.506768 c		
ICS 95	6		20.722097 b	
ICS 39	6		20.901918 b	
ICS 60	6			21.407333 a

**Figura 30.** Gráfico de perfil de materiales clonales para proteína; de las medias estimadas



Para la humedad no se encontraron diferencias significativas, por lo tanto, todos los materiales clonales pertenecen a un mismo grupo, como se observa en la **figura 31**.

**Figura 31.** Gráfico de perfil de materiales clonales para humedad; de las medias estimadas.



En la **tabla 36**, se presentan los promedios de los contenidos reales de la composición química<sup>4</sup>, para cada clon. De este análisis se destaca el contenido de grasa del ICS 39 con un 53.67%, es decir, el de mayor porcentaje de los clones analizados, ubicándose en un nivel normal, de acuerdo a la **tabla 7**.

**Tabla 36.** Efecto del análisis físico-químico en los diferentes clones de cacao.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO CLONES	PROT (%)	FIB (%)	GRA (%)	HUM (%)	CEN (%)	CAS (%)
CCN 51	11.8±0.2c*	8.0±0.7c	50.7 ±0.9c	6.3 ±0.3a	2.8 ±0.1b	15.23±0.9b
CAP 34	12.3±0.3 c	8.8± 1.0a	51.7±1.6 b	6.5 ±0.5a	2.7 ±0.1b	14.21±1.2c
ICS 39	12.7 ±0.8b	8.1± 0.1b	53.7 ±0.8a	6.6±0.3a	2.8 ±0.1b	13.6 ±0.5c
ICS 60	13.3 ±0.5a	8.0 ±0.3c	52.9±1.1a	6.7 ±0.6a	2.8 ±0.1b	15.1 ±1.6b
ICS 95	12.5 ±0.3b	6.3±0.3d	52.8±1.0a	6.3 ±0.4a	3.0 ±0.1a	16.83±0.6a

\*Los tratamientos con la misma letra no difieren significativamente  $P \leq 0.05$  Tukey.

<sup>4</sup> Promedio de contenido real de la composición química =  $\Sigma$  contenido de composición química para los dos tratamientos/2

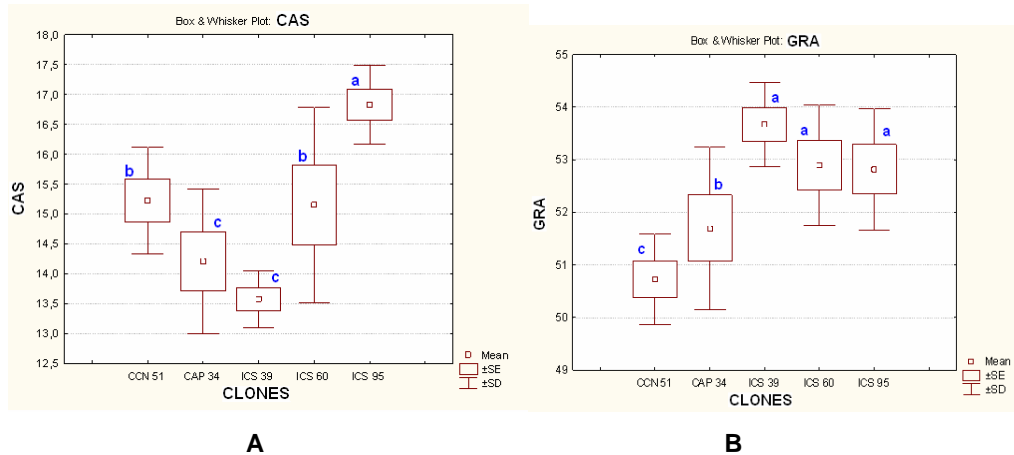
Por su contenido de grasa los clones ICS 60 e ICS 95 se ubicaron en un nivel normal; mientras que el CCN 51 y CAP 34 con un 50.73 y 51.73% respectivamente, se ubicaron en un nivel bajo; de acuerdo con los parámetros establecidos para su valoración a nivel industrial (**tabla 7**).

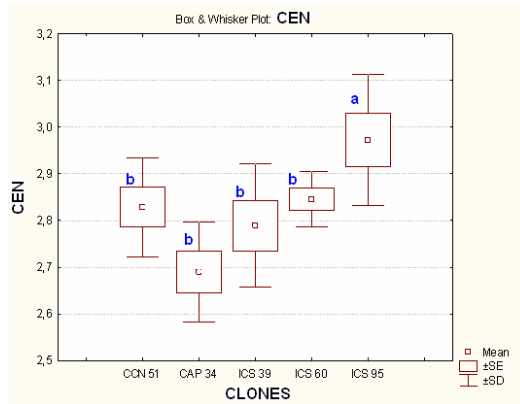
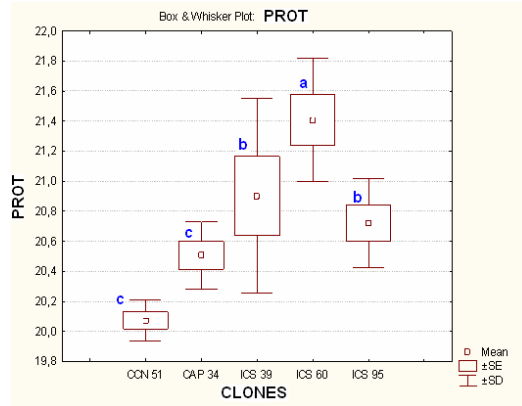
Para la proteína se observa que el CAP 34 e CCN 51 presentaron características similares, mientras que el ICS 95 e ICS 39 se encuentran en otro subgrupo, de tal forma que se presentan diferencias significativas en esta variable, ubicando al ICS 60 con 13.33% con el mayor porcentaje. De igual forma se observa que para la fibra los clones difieren significativamente en su porcentaje, ubicando al CAP 34 con 8.81% con el mayor valor.

Para el caso de la cascarilla, todos los materiales tuvieron un porcentaje alto, de acuerdo a los datos expuestos en la **tabla 7**, ubicando al ICS 95 con 16.83% con el mayor valor. Esto es debido a que los productores no realizan adecuadamente el proceso de beneficio, convirtiéndose en una amenaza para su comercialización.

En la **figura 32**, se pueden observar las diferencias de los materiales clonales de cacao, con respecto a su composición química, mediante los diagramas de cajas.

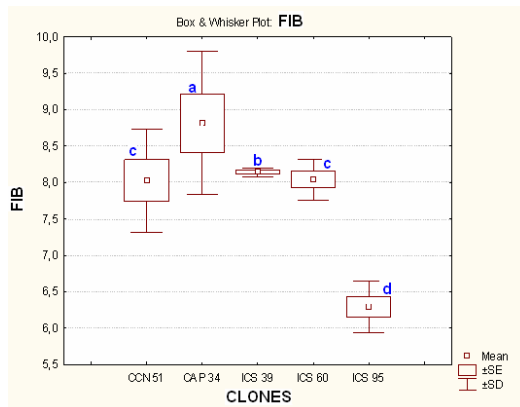
**Figura 32.** Diagramas de cajas de clones para el análisis físico-químico del cacao.



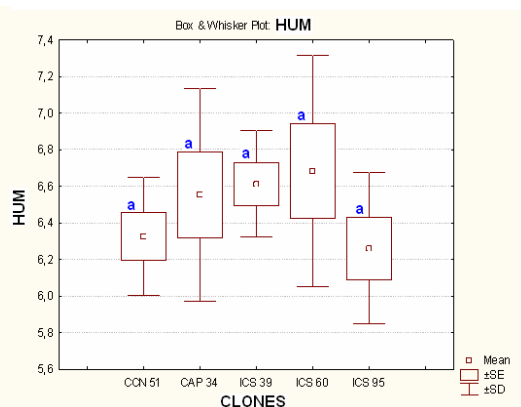


C

D



E



F

**3.2.3 Evaluación de la interacción Clon\*Tratamiento, para análisis físico-químico.** En esta interacción se observa (tabla 37) el comportamiento de cada uno de las variables físico-químicas en conjunto (tratamiento y clon).

**Tabla 37.** Interacción Trat\*Clon para propiedades físico-químicas

	PROT	FIB	GRA	HUM	CEN	CAS
<b>TRATAMIENTO</b>	ns	ns	*	ns	ns	ns
<b>CLON</b>	**	**	**	ns	*	**
<b>TRAT*CLON</b>	*	**	**	*	ns	**

Significancia de la ANOVA \*P<0,05; \*\*P<0,001 y ns no significativo.

En el caso de las variables físico-químicas fibra, grasa, proteína, humedad y cascarilla, presentaron un grado de significación, y la mayoría de estas influenciadas por las características de los clones.

En la **tabla 38**, se muestran los valores de los alimentos que proporcionan micronutrientes como el hierro y el zinc y en el caso del cacao cobre y manganeso también.

**Tabla 38.** Alimentos fuentes de hierro, zinc, cobre y manganeso en la dieta humana.

ALIMENTO	CONTENIDO (mg/Kg)			
	Fe	Zn	Cu	Mn
Frijol	55	28	---	---
Arroz	60	27	---	---
Trigo	53	22	---	---
Lentejas	95	31	---	---
<b>Cacao</b>				
<b>ICS-39</b>	<b>22.23</b>	<b>40.92</b>	13.42	7.77
CAP 34	19.23	33.35	12.37	9.83
ICS 95	20.71	32.64	18.98	14.33
CCN 51	19.60	36.98	10.94	10.00
ICS 60	20.42	38.12	15.15	7.56

Los valores de los contenidos de hierro y zinc en los alimentos suministrados por la FAO, comparados con los valores encontrados de los cinco clones evaluados, se encontró que para el caso del hierro, estos se encuentran por

debajo de todos los valores de los otros alimentos, mientras que para el zinc, superaron a todos los contenidos de los alimentos allí mencionados. Esto indica que el cacao es una fuente importante de zinc, mientras que su aporte en hierro es menos significativo.

Por otra parte, los valores de manganeso y cobre encontrados en los clones analizados en este estudio, no pudieron ser comparados con los de los otros alimentos presentados en la **tabla 38** ya que la ficha que presenta la FAO de la composición de alimentos de América Latina no reporta estos valores, esto no indica que dichos micronutrientes no sean importantes e indispensables en la dieta del ser humano, por el contrario, es un llamado a las entidades que les compete evaluar, reportar y actualizar estas fichas, para tener una mejor fuente de información y poder tomar decisiones acertadas para suplir estas deficiencias.

Los datos obtenidos en este trabajo serán proporcionados para una ficha técnica a fin de poder comparar con resultados obtenidos en otras regiones o países y observar cuál de éstos ofrece una mejor calidad en cuanto a micronutrientes ya que éste es el primer estudio que se realiza para establecer el contenido de elementos menores en el grano de cacao en diversos clones.

#### 4. CONCLUSIONES

- El presente estudio permitió la caracterización físico-química del grano de los clones de cacao promisorios, en cuanto a humedad, cenizas, grasa, proteína y contenido de micronutrientes, como hierro, zinc, cobre y manganeso.
- Se observa que no hay diferencias significativas en el contenido de micronutrientes, manganeso, hierro y cobre por los diferentes clones para los dos tratamientos (no fertilizado y fertilizado) y se encontró diferencias significativas en el contenido de zinc.
- El tratamiento con fertilización favorece el contenido de grasa en los clones, facilitando su comercialización y dándole un mayor valor agregado al producto.
- El clon ICS-39 es el que presentó un mayor porcentaje de grasa con 53.67% y un menor porcentaje de cascarilla con 13.58%, aspectos muy importantes para la buena comercialización del grano de cacao. En las variables como fibra y proteína, los porcentajes se ubicaron en el segundo lugar con 8.14% y 12.74% respectivamente, lo cual hace que sea el clon que presentó las mejores características en el análisis físico-químico.
- El clon ICS 39 es el que presentó un mayor contenido de zinc con 40.92 y el hierro con 22.23 mg/Kg, (teniendo en cuenta que dichos elementos son los más importantes en la dieta del ser humano, para su buen desarrollo), mientras que el clon ICS 95 es el que mejor absorbe el cobre con 18.98 y el manganeso con 14.33 mg/Kg.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer un estudio con las mismas características del análisis anterior, pero en suelos fertilizados con materia orgánica, ya que como se ha visto en las tablas 5 y 6, estos aumentan considerablemente los micronutrientes como zinc y manganeso disponibles en el suelo, esto podría arrojar mejores resultados a la hora de cuantificarlos en los granos de cacao. De igual forma realizar otros experimentos con proporciones diferentes de NPK suministrados a los suelos para correlacionarlos; ya que como se observa en este estudio, el hierro aumentó aunque en poca proporción su cantidad en los granos de cacao cuando el suelo es fertilizado con NPK, para ver cual seria la mezcla mas indicada de trabajar los suelos y obtener los mejores resultados en las cosechas de cacao, lo que le daría a este un mayor valor agregado en cuanto a su estado nutricional.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AGUDELO, G., CARDONA, O., POSADA, M.; Prevalencia de anemia ferropénica en escolares y adolescentes, Medellín, Colombia, 1999. Rev. Panam Salud Pública. [online]. Jun. 2003, vol.13 (6) [citado 08 Abril 2005], p.376-386. Disponible en la World Wide Web: <[http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1020-49892003000500006&lng=es&nrm=iso](http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1020-49892003000500006&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 1020-4989.
2. CAMACHO, R. Manual del cacaotero. Temas de orientación agropecuaria. 2 ed. Bogota. (s.n.). 1982. p.17.
3. CASTRO, L.; NICHOLLS, S. Deficiencia de hierro, vitamina A y prevalencia de parasitismo intestinal en la población infantil y anemia nutricional en mujeres en edad fértil, Colombia 1995-1996., INS. Bogotá. Division de biblioteca y publicaciones. 1998. p. 29-31, 91, 93.
4. CHADHA, M.; OLUOCH, M. Home-based vegetable gardens and other strategies to overcome micronutrients malnutrition in developing countries. En: Food, Nutrition and Agriculture. 2003. p. 17-23.
5. COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Agrocadenas. Acuerdo regional de competitividad cadena de cacao-chocolate Región Nororiental (Santander, Norte de Santander y Arauca). [en línea]. Bucaramanga 2002 [citado 18 Marzo 2005], p.10-12,18-19. Disponible en la World Wide Web:

[http://www.agrocadenas.gov.co/cacao/documentos/acuerdo\\_cacao\\_sant.pdf](http://www.agrocadenas.gov.co/cacao/documentos/acuerdo_cacao_sant.pdf)

6. COTE, C. Región competitiva. Boletín Técnico. Sistema de información para el desarrollo tecnológico SIDETEC. Bucaramanga, 2004. p. 2, 4.
7. DURAN, T.; MORENO, N.; PEREA, J.; Evaluación de la variación del perfil ácido del grano de cacao durante los procesos de fermentación y secado. Bucaramanga, 1999, p. 11, 15-18. Trabajo de grado (Químico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias. Escuela de Química.
8. KENNEDY, G., NANTEL, G., AND SHETTY P.; The scourge of “hidden hunger”: global dimensions of micronutrient deficiencies. En: Food, Nutrition and Agriculture. 2003. p. 8 -16.
9. PIANO, J.; GARRIDO, L.; BAREA, J.; GUIJARRO, J.; El chocolate y las grasas. En: ESPIN CERO. [online]. Málaga, 2002. Disponible en la World Wide Web: <<http://es.geocities.com/quimesca/articulos/grasas.htm>>
10. <http://www.unicef.org.co/Micronutrientes/hierro.htm>
11. <http://www.unicef.org.co/Micronutrientes/queson.htm>

12. INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR. Recomendaciones de consumo diario de calorías y nutrientes para la población colombiana. Santa Fe de Bogotá. (s.n.). 1992. p. 62,70.
13. KUHNLEIN, H. Micronutrient nutrition and traditional food systems of indigenous peoples. En: Food, Nutrition and Agriculture. 2003. p. 33-39.
14. MARQUEZ, R.; AGUIRRE, G; Manual técnico de cosecha y beneficio del cacao. 1 ed. Ciudad de la Habana. (s.n.) 2003. p. 11.
15. MEJÍA, L., PALENCIA, G.; Abono Orgánico, manejo y uso en el cultivo de cacao. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Regional Siete (Corpoica). Bucaramanga, 2003c. p. 3-5; 8,12,13.
16. -----Manejo integrado del cultivo de cacao. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Regional Siete (Corpoica). Bucaramanga, 2000a p. 12-13.
17. -----Producción de Cacao mediante la aplicación de compuestos orgánicos. Boletín técnico. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Regional Siete (Corpoica). Bucaramanga, 2003d p. 12, 24.
18. -----Producción Masiva de Materiales Clonales de Cacao (*Theobroma cacao* L.). Manual técnico. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Regional Siete (Corpoica). Bucaramanga, 2003a p. 23.

19. -----Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción del cacao. Boletín técnico. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Regional Siete (Corpoica). Bucaramanga, 2003b p. 59, 61, 64.
  
20. ----- Agrocadenas. Descripción de la cadena de cacao. Eslabón primario. [en línea]. Última actualización : agosto de 2004, Bogotá D.C. [citado 18 Marzo 2005]. Disponible en la World Wide Web: <[http://www.agrocadenas.gov.co/cacao/cacao\\_descripcion1b.htm](http://www.agrocadenas.gov.co/cacao/cacao_descripcion1b.htm)> .
  
21. OCAMPO A.; Sintomatología de las deficiencias nutricionales de cacao. Santa Fe de Bogotá. Instituto Colombiano Agropecuario ICA. 1993. p. 15-18.
  
22. OLIVARES, M.; HERTRAMPF, E.; PIZARRO, F. Y WALTER, T. Iron fortification of milk in Chile. En: Food, Nutrition and Agriculture. 2003. p. 69.
  
23. PEREA, J.; ESPINOSA, A.; OTERO, V. Fermentación y secado de los granos de cacao. En: Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao. Bucaramanga. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Regional Siete (Corpoica), 2000b p. 123.
  
24. PINZON, U.; ROJAS, A. El beneficio y características físico-químicas del cacao. Bucaramanga. Federación Nacional de Cacaoteros Fondo Nacional del Cacao., 2004. p. 21-23; 24-30.

25. PROBART, C. Meeting micronutrient needs. En: Food, Nutrition and Agriculture. 2003. p. 6-7.
26. SALAZAR, D. Micronutrientes . [en línea] . Actualizado al: Jue Abr 07 2005 a las 23:03:19 [citado 6 noviembre de 2004]. Disponible en la World Wide Web: <<http://www.monografias.com/trabajos14/micronutrientes/intro>>
27. SHARMA. K. Improving bioavailability of iron in Indian diets through food-based approaches for the control of iron deficiency anaemia. En: Food, Nutrition and Agriculture. 2003. p. 51-61.

**ANEXO A**  
**DESCRIPTIVOS MODELO TRANSFORMADO**

Modelo Bifactorial 2\*5

NUT	NPK	VAR	CAP			CAS	HUM	GRA	FIB
			34	1		22,25206	14,78401	46,42904	18,15621
				2		20,27672	13,68405	47,21868	18,23347
				3		23,24821	14,39813	46,53751	18,07866
				Total	N	3	3	3	3
					Media	21,925661	14,288728	46,728411	18,156112
					Desv. típ.	1,5123962	,5580823	,4280325	7,74E-02
					Varianza	2,287	,311	,183	5,991E-03
			CCN	1		22,82659	14,01266	45,59534	15,76316
			51	2		23,57818	14,13739	45,97368	15,86151
				3		23,98961	14,81597	45,97950	15,66427
				Total	N	3	3	3	3
					Media	23,464792	14,322007	45,849507	15,762978
					Desv. típ.	,5897463	,4323071	,2201335	9,86E-02
					Varianza	,348	,187	4,846E-02	9,726E-03
			ICS	1		21,16834	15,23640	46,45427	16,55623
			39	2		22,11276	14,88211	47,58266	16,63995
				3		21,90663	15,36984	46,61256	16,47213
				Total	N	3	3	3	3
					Media	21,729245	15,162783	46,883164	16,556101
					Desv. típ.	,4965683	,2520617	,6109301	8,39E-02
					Varianza	,247	6,354E-02	,373	7,040E-03
			ICS	1		21,67391	14,56728	47,34642	16,20684
			60	2		21,21934	15,90981	46,78565	16,27086
				3		22,34183	15,61510	47,52428	16,14259
				Total	N	3	3	3	3
					Media	21,745028	15,364064	47,218783	16,206763
					Desv. típ.	,5646157	,7055900	,3855049	6,41E-02
					Varianza	,319	,498	,149	4,113E-03
			ICS	1		23,62503	14,25562	47,14073	14,14259
			95	2		23,76516	13,84873	47,14816	14,20293
				3		24,12046	14,05353	47,36180	14,08201
				Total	N	3	3	3	3
					Media	23,836881	14,052626	47,216898	14,142508
					Desv. típ.	,2553821	,2034488	,1255399	6,05E-02
					Varianza	6,522E-02	4,139E-02	1,576E-02	3,655E-03
			Total	N		15	15	15	15
					Media	22,540322	14,638042	46,779353	16,164892
					Desv. típ.	1,1693417	,6710051	,6167976	1,3409759
					Varianza	1,367	,450	,380	1,798
	SN	VAR	CCN	1		22,60945	14,75906	44,98281	17,09391
			51	2		22,01401	14,80550	45,01719	17,11429
				3		22,75439	14,85073	44,95415	17,17532
				Total	N	3	3	3	3
					Media	22,459284	14,805097	44,984716	17,127841
					Desv. típ.	,3923689	4,58E-02	3,16E-02	4,24E-02
					Varianza	,154	2,101E-03	9,963E-04	1,794E-03
			CAP	1		22,65785	15,39776	45,05730	16,34527
			34	2		21,95624	15,31924	45,06876	16,31342
				3		22,39881	15,34009	45,52597	16,36647
				Total	N	3	3	3	3
					Media	22,337633	15,352360	45,217341	16,341719
					Desv. típ.	,3547801	4,07E-02	,2673434	2,67E-02
					Varianza	,126	1,654E-03	7,147E-02	7,132E-04

A los porcentajes se les aplicó el  $\text{Arcsen}\sqrt{\%}$ , (donde % es la fracción), para las variables CAS, HUM, GRA, FIB, CEN y a los micronutrientes Cu, Zn, Mg, Fe, se les aplicó  $\text{Log}_{10}$  con el objetivo de obtener normalidad y homogeneidad de varianzas en todos los grupos.

Modelo Bifactorial 2\*5

NUT	SN	VAR	ICS			CAS	HUM	GRA	FIB
			39	1		21,51485	14,58367	47,32877	16,59813
				2		21,15132	14,61890	47,35177	16,57719
				3		21,84864	14,69646	47,29566	16,63995
				Total	N	3	3	3	3
					Media	21,504938	14,633013	47,325401	16,605090
					Desv. típ.	,3487628	5,77E-02	2,82E-02	3,20E-02
					Varianza	,122	3,330E-03	7,955E-04	1,021E-03
			60	1		24,04355	14,19088	46,10035	16,71289
				2		23,65622	14,28701	46,11755	16,69208
				3		24,35769	15,25516	46,08193	16,78556
				Total	N	3	3	3	3
					Media	24,019156	14,577680	46,099945	16,730180
					Desv. típ.	,3513688	,5886781	1,78E-02	4,91E-02
					Varianza	,123	,347	3,173E-04	2,409E-03
			95	1		24,48705	14,92105	46,04301	14,88647
				2		24,99206	14,85182	46,02581	14,87493
				3		24,31191	14,97076	45,98267	14,93256
				Total	N	3	3	3	3
					Media	24,597006	14,914543	46,017165	14,897990
					Desv. típ.	,3531534	5,97E-02	3,11E-02	3,05E-02
					Varianza	,125	3,568E-03	9,665E-04	9,298E-04
			Total	N		15	15	15	15
				Media		22,983604	14,856539	45,928914	16,340564
				Desv. típ.		1,2236217	,3638207	,8579162	,7919929
				Varianza		1,497	,132	,736	,627
	Total	N				30	30	30	30
		Media				22,761963	14,747290	46,354133	16,252728
		Desv. típ.				1,1973863	,5418565	,8520722	1,0857704
		Varianza				1,434	,294	,726	1,179

Modelo Bifactorial 2\*5

					CEN	PROT	CU	ZN	
NUT	NPK	VAR	CAP 34	1		9,13475	20,78585	1,10551	1,57113
				2		9,72459	20,74855	1,11810	1,59797
				3		9,50451	20,56746	1,05115	1,49485
			Total	N	3	3	3	3	
				Media	9,4546159	20,700621	1,0915873	1,5546485	
				Desv. tip.	,2980671	,1168159	3,56E-02	5,35E-02	
				Varianza	8,884E-02	1,365E-02	1,266E-03	2,862E-03	
			CCN 51	1		9,91804	20,13271	1,06070	1,52988
				2		9,35457	19,93757	1,06539	1,53148
	3			9,73273	20,13606	1,13434	1,52666		
	Total	N	3	3	3	3			
		Media	9,6684500	20,068779	1,0868091	1,5293402			
		Desv. tip.	,2871808	,1136463	4,12E-02	2,45E-03			
		Varianza	8,247E-02	1,292E-02	1,700E-03	6,018E-06			
	ICS 39	1		9,69077	8,69513	1,00000	1,64591		
		2		9,24916	8,14557	1,08368	1,66745		
		3		9,40877	8,16578	1,13830	1,66276		
	Total	N	3	3	3	3			
		Media	9,4495652	8,3354948	1,0739948	1,6587080			
		Desv. tip.	,2236145	,3116154	6,97E-02	1,13E-02			
		Varianza	5,000E-02	9,710E-02	4,852E-03	1,283E-04			
ICS 60	1		9,89032	20,90882	1,23679	1,53307			
	2		9,74331	20,90287	1,16137	1,50684			
	3		9,62525	21,41892	1,04139	1,65682			
Total	N	3	3	3	3				
	Media	9,7529580	21,076870	1,1465166	1,5655775				
	Desv. tip.	,1327994	,2962361	9,85E-02	8,01E-02				
	Varianza	1,764E-02	8,776E-02	9,710E-03	6,415E-03				
ICS 95	1		9,99057	21,25538	1,11394	1,59384			
	2		9,53096	20,42995	1,36642	1,51188			
	3		9,76336	20,47872	1,25527	1,53939			
Total	N	3	3	3	3				
	Media	9,7616312	20,721351	1,2452129	1,5483709				
	Desv. tip.	,2298104	,4631247	,1265400	4,17E-02				
	Varianza	5,281E-02	,214	1,601E-02	1,740E-03				
Total	N	15	15	15	15				
	Media	9,6174441	18,180623	1,1288242	1,5713290				
	Desv. tip.	,2496988	5,1123705	9,53E-02	6,15E-02				
	Varianza	6,235E-02	26,136	9,081E-03	3,787E-03				
SN	VAR	CCN 51	1		9,73639	20,00198	1,02633	1,60477	
			2		9,65008	19,93951	1,01072	1,60342	
			3		9,69794	20,29282	1,00540	1,60206	
		Total	N	3	3	3	3		
			Media	9,6948048	20,078102	1,0141493	1,6034136		
			Desv. tip.	4,32E-02	,1885532	1,09E-02	1,35E-03		
			Varianza	1,870E-03	3,555E-02	1,184E-04	1,830E-06		
		CAP 34	1		9,38659	20,31194	1,11394	1,52504	
			2		9,42213	20,34712	1,08814	1,45484	
3			9,45610	20,27969	1,07463	1,47712			
Total	N	3	3	3	3				
	Media	9,4216064	20,312914	1,0922377	1,4856703				
	Desv. tip.	3,48E-02	3,37E-02	2,00E-02	3,59E-02				
	Varianza	1,208E-03	1,137E-03	3,989E-04	1,287E-03				

Modelo Bifactorial 2\*5

NUT	SN	VAR	ICS			CEN	PROT	CU	ZN
			39	1		9,70195	20,54840	1,20071	1,57403
				2		9,82196	20,53097	1,10551	1,54095
				3		9,79735	20,58078	1,20412	1,56229
				Total	N	3	3	3	3
					Media	9,7737566	20,553383	1,1701146	1,5590930
					Desv. típ.	6,34E-02	2,53E-02	5,60E-02	1,68E-02
					Varianza	4,018E-03	6,390E-04	3,133E-03	2,812E-04
			60	1		9,61535	21,74477	1,23679	1,60206
				2		9,66740	21,65722	1,19033	1,58405
				3		9,72563	21,81140	1,18682	1,58827
				Total	N	3	3	3	3
					Media	9,6694622	21,737796	1,2046453	1,5914600
					Desv. típ.	5,52E-02	7,73E-02	2,79E-02	9,42E-03
					Varianza	3,044E-03	5,980E-03	7,780E-04	8,873E-05
			95	1		10,12428	20,69615	1,32991	1,47712
				2		9,99100	20,66146	1,23679	1,45484
				3		10,15482	20,81092	1,32222	1,49136
				Total	N	3	3	3	3
					Media	10,090035	20,722843	1,2963048	1,4744426
					Desv. típ.	8,71E-02	7,82E-02	5,17E-02	1,84E-02
					Varianza	7,589E-03	6,119E-03	2,671E-03	3,388E-04
			Total	N		15	15	15	15
					Media	9,7299329	20,681008	1,1554903	1,5428159
					Desv. típ.	,2283645	,5976343	,1047141	5,78E-02
					Varianza	5,215E-02	,357	1,097E-02	3,338E-03
	Total	N				30	30	30	30
		Media				9,6736885	19,430815	1,1421573	1,5570725
		Desv. típ.				,2419676	3,7956346	9,93E-02	6,04E-02
		Varianza				5,855E-02	14,407	9,861E-03	3,650E-03

Modelo Bifactorial 2\*5

					MN	FE			
NUT	NPK	VAR	CAP 34	1		,94201	1,17609		
				2		1,01072	1,36408		
				3		,93576	1,26717		
					Total		N	3	3
							Media	,9628303	1,2691149
							Desv. típ.	4,16E-02	9,40E-02
							Varianza	1,730E-03	8,838E-03
					CCN 51	1		1,23045	1,33496
						2		1,04139	1,27875
						3		1,05115	1,10551
					Total		N	3	3
							Media	1,1076647	1,2397400
							Desv. típ.	,1064462	,1195948
							Varianza	1,133E-02	1,430E-02
					ICS 39	1		,82930	1,16879
						2		,86776	1,35936
						3		,83727	1,39576
					Total		N	3	3
							Media	,8447795	1,3079721
							Desv. típ.	2,03E-02	,1218999
							Varianza	4,120E-04	1,486E-02
		ICS 60	1		,85278	1,29003			
			2		,96614	1,23045			
			3		,93576	1,25527			
		Total		N	3	3			
				Media	,9182286	1,2585853			
				Desv. típ.	5,87E-02	2,99E-02			
				Varianza	3,443E-03	8,958E-04			
		ICS 95	1		1,07918	1,22401			
			2		1,01072	1,21748			
			3		1,07004	1,43136			
		Total		N	3	3			
				Media	1,0533143	1,2909542			
				Desv. típ.	3,72E-02	,1216421			
				Varianza	1,381E-03	1,480E-02			
		Total	N		15	15			
			Media		,9773635	1,2732733			
			Desv. típ.		,1097709	9,10E-02			
			Varianza		1,205E-02	8,286E-03			
	SN	VAR	CCN 51	1		,90309	1,32480		
					2		,75012	1,28160	
					3		,85278	1,30103	
				Total		N	3	3	
						Media	,8353325	1,3024761	
						Desv. típ.	7,80E-02	2,16E-02	
						Varianza	6,078E-03	4,680E-04	
				CAP 34	1		1,07463	1,28160	
					2		,97197	1,29831	
					3		1,00540	1,29557	
		Total		N	3	3			
				Media	1,0173333	1,2918252			
				Desv. típ.	5,24E-02	8,96E-03			
				Varianza	2,742E-03	8,027E-05			

Modelo Bifactorial 2\*5

						MN	FE		
NUT	SN	VAR	ICS 39	1		,94201	1,37794		
				2		,92942	1,37794		
				3		,92298	1,36408		
				Total	N		3	3	
					Media		,9314706	1,3733228	
					Desv. típ.		9,68E-03	8,00E-03	
					Varianza		9,363E-05	6,405E-05	
					ICS 60	1		,81291	1,39358
						2		,86776	1,30374
						3		,81291	1,36408
						Total	N	3	3
							Media	,8311962	1,3537976
							Desv. típ.	3,17E-02	4,58E-02
							Varianza	1,003E-03	2,097E-03
						ICS 95	1		1,23679
				2		1,22401	1,31702		
				3		1,25527	1,34242		
			Total	N	3	3			
				Media	1,2386921	1,3419546			
				Desv. típ.	1,57E-02	2,47E-02			
				Varianza	2,470E-04	6,104E-04			
			Total	N	15	15			
				Media	,9708050	1,3326753			
				Desv. típ.	,1604199	3,87E-02			
				Varianza	2,573E-02	1,495E-03			
	Total	N			30	30			
		Media			,9740842	1,3029743			
		Desv. típ.			,1350991	7,51E-02			
		Varianza			1,825E-02	5,635E-03			