



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Obtención de la norma de diagnóstico y recomendación integral (DRIS) para el cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) en la Altiplanura Colombiana

I. A. Edinson Chacón Pardo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Agronomía-Escuela de Posgrados
Maestría en Ciencias Agrarias
Bogotá, Colombia

2012

Obtención de la norma de diagnóstico y recomendación integral (DRIS) para el cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) en la Altillanura Colombiana

I. A. Edinson Chacón Pardo
Código: 07790750

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de: Magister en Ciencias Agrarias con énfasis en Suelos y Aguas

Director:
Ingeniero Agrícola (M. Sc.) Jesús Hernán Camacho Tamayo
Codirector (a):
Ingeniero Agrónomo (M. Sc.) Jaime Humberto Bernal Riobo

Línea de Investigación:
Suelos y Aguas

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Agronomía-Escuela de Posgrados
Maestría en Ciencias Agrarias
Bogotá, Colombia
2012

Con mucho amor el presente trabajo esta dedicado a:

A Dios

A mis padres Melba y Arnulfo

A mis sobrinos Juan David y Samuel Steven

A mi familia (Abuelos, Tíos, primos) y amigos....

Agradecimientos

El autor agradece a CORPOICA por su apoyo económico para el desarrollo del proyecto; a la empresa MAVALLE S.A., por permitir desarrollar el trabajo en sus plantaciones comerciales; a la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá por el apoyo logístico prestado en todo el desarrollo del proyecto, Al profesor Jesús Hernán Camacho por su dirección y colaboración; al señor Orlando Arguello y al señor Jaime Bernal por su apoyo técnico y logístico para el muestreo y análisis de laboratorio.

Resumen

Fueron obtenidas las normas de diagnóstico y recomendación integral DRIS Beaufils (1973), para los clones de caucho (*Hevea brasiliensis*) FX 3864 y RRIM 600, bajo condiciones de la altillanura Colombiana. El estudio fue desarrollado en la finca perteneciente a la empresa Mavalle S.A. en el municipio de Puerto López (Meta) en un suelo que se clasificó en campo como Inseptic Hapludox. Se tomaron 80 muestras de tejido foliar y de suelos y se midió la producción de látex en campo para cada clon. Los resultados fueron evaluados mediante estadística univariada y multivariada inicialmente, encontrando en primer lugar que la producción de los dos clones varía de manera significativa a pesar de estar plantados en el mismo ambiente edafoclimático, por lo que se hizo necesario la obtención de las normas de forma independiente para cada clon. Para la selección de las normas DRIS se utilizó el criterio de mayor relación entre varianzas. Con las normas obtenidas para el tejido foliar y de suelos se realizó el cálculo de los índices DRIS con el fin de realizar el diagnóstico nutricional, encontrando que para el clon RRIM 600 a nivel foliar potasio (K) es elemento que más limita la producción y mayor probabilidad de respuesta tiene a la aplicación y que pequeñas cantidades de cobre (Cu) y azufre (S) pueden generar desequilibrios que influyan en la producción de este clon. En lo referente al suelo, el elemento que más limita la producción es el Ca. Para el clon FX 3864 el K y el N son los elementos que más limitan la producción a nivel foliar mientras que en el suelo el elemento que más limita la producción es el N. A nivel general el Ca para el cultivo del caucho varía dependiendo del tipo de clon, encontrando que en el clon RRIM 600 altos contenidos de Ca están asociados a altas producciones, mientras que en el clon FX 3864 altos contenidos de Ca están asociados a bajas producciones. Con los resultados obtenidos se logró construir normas DRIS preliminares de forma independiente para cada clon que permiten un adecuado diagnóstico nutricional de plantaciones de caucho bajo condiciones de la altillanura colombiana.

Palabras clave. Altillanura, nutrición mineral, DRIS, fertilización.

Abstract

Were obtained DRIS norms (diagnosis and recommendation integrated) Beaufils (1973), for clones of rubber (*Hevea brasiliensis*) FX 3864 and RRIM 600, under conditions of high plains of Colombia. The study was conducted on the farm belonging to the company Mavalle SA in the municipality of Puerto Lopez (Meta) in soil that was classified in field as Inseptic Hapludox. 80 samples were taken of leaf tissue and soil and measured the production of latex in the field for each clone. The results were evaluated by univariate

and multivariate statistical initially, finding first that the production of the two clones varies significantly despite being planted in soil and climate the same environment, so it became necessary to obtain the rules of form independently for each clone. For the selection of the DRIS norms used the criterion of greater relationship between variances. With the norms obtained for the soil and leaf tissue was performed to calculate DRIS indices to make the nutritional diagnosis, finding that for clone RRIM 600 at leaf potassium (K) is the element that most limits the production and greater probability of response is the application that small amounts of copper (Cu) and sulfur (S) can create imbalances which affect the production of this clone. With regard to soil, the element most limiting production is Ca clone FX 3864 For the K and N are the elements most limiting production at leaf level in the soil while the element that most limits the production is N. In general the Ca for the cultivation of rubber varies depending on the type of clone, found that in clone RRIM 600 high contents of Ca are associated with high yields, whereas the clone FX 3864 high contents of Ca are associated with low yields. The results obtained are able to build preliminary DRIS norms separately for each clone to provide for adequate nutritional diagnosis of rubber plantations under conditions of high plains of Colombia.

Keywords: High plains of Colombia, Mineral nutrition, DRIS, Fertilization.

Contenido	Pág.
Resumen y Abstract	IX
Introducción	1
1. Objetivos	3
1.1. Objetivo general	3
1.2 Objetivos Específicos	3
2. Marco conceptual	5
2.1 La altillanura colombiana	5
2.1.1 Descripción geográfica	5
2.1.2 Características ambientales de la Altillanura	5
2.1.3 Características de los suelos en la Altillanura	5
2.2 El cultivo del caucho (<i>Hevea brasiliensis</i> Muell Arg.)	6
2.2.1 Generalidades	6
2.2.2 Clasificación taxonómica	8
2.2.3 Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo del caucho	9
2.3 Nutrición en el cultivo del caucho	10
2.3.1 Fertilización	10
2.4 Métodos de diagnóstico nutricional utilizados en el cultivo del caucho	12
2.4.1 Análisis de suelos	12
2.4.2 Análisis de tejido	13
2.5 Sistema de diagnóstico y recomendación integral (DRIS)	14
2.5.1 Establecimiento de las normas DRIS	15
2.5.2 Diagnostico mediante DRIS	18
2.6 Análisis de componentes principales (ACP) y Clúster	19
3 Materiales y métodos	21
3.1 Caracterización del área de estudio	21
3.2 Toma de muestras y análisis de laboratorio	22
3.3 Procesamiento de datos	23

XII Obtención de la norma de diagnóstico y recomendación integral (DRIS) para el cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) en la Altillanura Colombiana

3.3.1	Análisis estadístico	24
3.3.2	Obtención de las normas DRIS, foliar y de suelos	25
3.3.3	Obtención de los índices DRIS, foliar y de suelos	25
4	Análisis de resultados y discusión	25
4.1	Análisis univariado y multivariado	29
4.2	Normas DRIS foliares	29
4.2.1	Normas DRIS para el clon RRIM 600	39
4.2.2	Normas DRIS para el clon FX 3864	46
4.3	Normas DRIS para suelos	51
5	Conclusiones y recomendaciones	59
5.1	Conclusiones	59
5.2	Recomendaciones	60
	Anexo A: Anovas suelos	61
	Anexo B: Anovas foliares	63
	Anexo C: Perfil modal de suelos	65
	Bibliografía	67

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-1 Área sembrada y producción de caucho natural en el mundo, para el Año 2010	6
Figura 3-1: Ubicación geográfica finca Mavalle S.A.	21
Figura 3-2: Perfil modal de suelos finca Mavalle S.A.	22
Figura 4-1: Análisis de factores por componentes principales para las subpoblaciones (PA), (PMA), (PMB), (PB) y las propiedades químicas foliares y de suelos en el clon RRIM 600.	34
Figura 4-2: Análisis de factores por componentes principales para las subpoblaciones (PA), (PMA), (PMB), (PB) y las propiedades químicas foliares y de suelos en el clon FX 3864.	35
Figura 4-3: Dendogramas resultantes del análisis clúster para los clones RRIM 600 y FX 3864 suelos y foliar para producción.	36
Figura 4-4: Dendogramas y mapas de contorno resultantes del análisis clúster (AC) por casos para los clones RRIM 600	37
Figura 4-5: Dendogramas y mapas de contorno resultantes del análisis clúster (AC) por casos para el clon FX 3864.	38

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Características químicas generales de los suelos de la altillanura plana.	6
Tabla 2-2: Área sembrada con caucho por departamentos en Colombia	7
Tabla 2-3: Clasificación taxonómica del caucho.	8
Tabla 2-4: Necesidad de fertilización para el cultivo del caucho, de acuerdo a la edad de plantado.	11
Tabla 2-5: Interpretación análisis de suelos para el cultivo del caucho (Pushparajah, 1977).	12
Tabla 2-6: Concentraciones adecuadas de nutrientes en las hojas de caucho en Malasia (Pushparajah & Ten, 1972)	13
Tabla 4-1: Estadística descriptiva de las propiedades químicas de dos suelos cultivados con caucho, clon RRIM 600 y FX 3864.	30
Tabla 4-2: Estadística descriptiva de las propiedades químicas foliares de la plantación cultivada con caucho, clon FX 3864 y RRIM 600 en la altillanura colombiana.	31
Tabla 4-3: Análisis de componentes principales (CP) de las variables edáficas y foliares asociadas a la producción de los clones RRIM 600 y FX 3864 en la altillanura colombiana.	33
Tabla 4-4: Estadística descriptiva de la poblaciones de alta y baja producción en (<i>Hevea brasiliensis</i>) clon RRIM 600, en la altillanura Colombiana.	40
Tabla 4-5: Relaciones y normas seleccionadas para caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>) clon RIMM 600, en la altillanura Colombiana	42
Tabla 4-6: Valor correlaciones de Pearson significativas ($p < 0,05$) en la población de alto rendimiento, para caucho clon RRIM 600.	44
Tabla 4-7: Índices de interpretación, para caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>) clon RRIM 600, en la altillanura Colombiana, con una población de bajo rendimiento.	45
Tabla 4-8: Estadística descriptiva de la población de alta y baja producción tenidas en cuenta para la obtención de la norma DRIS en el cultivo de caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>) clon FX 3864, en la altillanura Colombiana	47

Tabla 4-9: Relaciones y normas seleccionadas para caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>) clon FX 3864, en la altillanura Colombiana.	48
Tabla 4-10: Índices de interpretación, para caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>) clon FX 3864, en la altillanura Colombiana, con una población de bajo rendimiento	50
Tabla 4-11: Estadística descriptiva de los elementos del suelo en zonas con poblaciones de alta y baja producción clon FX 3864	52
Tabla 4-12: Relaciones y normas DRIS en suelos seleccionadas para caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>) clon FX 3864, en la altillanura Colombiana.	54
Tabla 4-13: Relaciones y normas DRIS en suelos, seleccionadas para caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>) clon RRIM 600, en la altillanura Colombiana.	55
Tabla 4-14: Valor correlaciones de Pearson significativas ($<0,005$) para las relaciones en la población de alto rendimiento, para caucho clon FX3864 y RRIM 600.	56
Tabla 4-15: Índices de balance nutricional para suelo, en el cultivo de caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>) clon FX 3864, en la altillanura Colombiana	57

Introducción

La altillanura Colombiana se extiende desde el municipio de Puerto López hasta la desembocadura del río Orinoco. Sus suelos son altamente evolucionados y poco fértiles por procesos de lavado continuo (Malagón, 2003; Echart & Cavalli-Molina, 2001). Por sus bajos contenidos de materia orgánica tienen baja retención de humedad y son propensos a la erosión y a la degradación natural (Amézquita et al., 2002; Molina et al., 2003). Esta área se caracteriza principalmente por presentar una alta potencialidad para la agricultura, estimándose que cuenta con aproximadamente 4,5 millones de hectáreas potencialmente agrícolas (Rivas et al., 2004), en las cuales se vienen desarrollando proyectos agrícolas con la introducción de cultivos como soya, caña de azúcar, plantaciones forestales, palma de aceite y caucho entre otros, que se vislumbran como una alternativa productiva para los pequeños y grandes empresarios agrícolas.

En Colombia, el cultivo del caucho presenta gran importancia en el ámbito agrícola debido a las condiciones favorables con las que cuenta el país para el desarrollo del cultivo, con cerca de 263000 hectáreas apropiadas para su siembra (CONIF-MADR, 1997). En este contexto y contrario a lo que se pensaría, en este momento el área sembrada y la producción obtenida son insuficientes para suplir la demanda interna. Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2009), aunque el área sembrada pasó de 6787 ha en el 2002 a 30400 ha en el 2008 la demanda sigue siendo superior a la oferta. El consumo en Colombia para 2008 se estimó en 9633 toneladas de caucho con especificaciones técnicas y de 7644 toneladas de látex, mientras que el país el mismo año produjo únicamente 2.849 toneladas de caucho natural, aspecto que refleja la importancia de aumentar el área sembrada y la producción con el fin de suplir las necesidades internas (Ministerio de Agricultura y desarrollo rural, 2009).

En la actualidad, el cultivo de caucho en la altillanura se extiende principalmente en el municipio de Puerto López, donde se encuentran plantaciones comerciales en etapa productiva y especialmente en etapa de siembra. Estas plantaciones son manejadas a nivel nutricional con recomendaciones de fertilización basadas en países como Malasia, Brasil e India, que se desarrollaron específicamente para sus zonas de producción, dependiendo del tipo de clon, densidad de siembra, clase de suelo y oferta medioambiental, por lo que en la altillanura los resultados obtenidos en producción aunque no son bajos podrían ser superiores al desarrollar metodologías de diagnóstico nutricional para efectuar la fertilización basadas en condiciones propias.

En este sentido el sistema de diagnóstico y recomendación integral (DRIS), puede ser una herramienta que permita una correcta interpretación de los análisis de tejido y su

correlación con el análisis de suelos para estas condiciones (Rodríguez et al., 2007; Dos Santos et al., 2004)

El DRIS fue desarrollado por Beaufils (1957-1973) quien inicialmente lo aplicó en árboles de caucho en Vietnam y luego en maíz en Sudáfrica. En la actualidad se cuenta con normas DRIS para cultivos como café, manzana, forestales, cítricos y plátano, entre otros (Nick, 1998; Nachtigall & Roque, 2007; Rodríguez & Rodríguez, 1997; Medina, 2004; Mourão-Filho & Azevedo, 2003). En Colombia, la implementación y el desarrollo de este sistema de diagnóstico nutricional en el cultivo del caucho no registra antecedentes, pero se han desarrollado en otros cultivos como flores (Franco, 2007).

El DRIS consiste en un conjunto de normas de diagnóstico, que permiten relacionar las propiedades del suelo con la composición de los tejidos de las plantas, en función del rendimiento de un cultivo en particular y contribuye al mejoramiento de la producción en las diferentes zonas agroecológicas potencialmente aptas para un cultivo específico (Días et al., 2011; Reis, 2002).

A diferencia de metodologías como la del valor crítico o rango de suficiencia, el DRIS se basa en la utilización de las relaciones entre nutrientes en lugar de la concentración absoluta o individual para la interpretación de análisis de tejidos. El sistema DRIS permite proporcionar un diagnóstico válido sin considerar la edad de la planta o el tejido, ordenar los nutrientes según el grado de deficiencia y acentuar la importancia del balance de nutrientes. El DRIS parte de la base que algunas relaciones entre nutrientes son más importantes que otras en un cultivo específico y esto se puede identificar en plantaciones de alta producción, que en ocasiones pueden presentar relaciones ideales u óptimas, siendo estas indicadoras de las condiciones nutricionales ideales de un cultivo en un ambiente edafoclimático específico (Jones, 1981; Walworth & Sumner 1987).

La metodología para la obtención de las normas DRIS se fundamenta en obtener, a través de muestras, las concentraciones óptimas de nutrientes en los tejidos y establecer las interacciones que se presentan entre estos, con lo que se evalúa la disponibilidad de un nutriente en relación con los demás, en función de la producción del cultivo y de las condiciones edafoclimáticas (Silva et al., 2005). Así, el establecer las normas tiene como objetivo el comparar una muestra cualquiera con un patrón que se considera como ideal al cual se le denomina norma (Malavolta et al., 1997). Con el establecimiento de normas DRIS a nivel foliar y del suelo se exploran nuevas posibilidades en el diagnóstico nutricional al establecer las relaciones específicas e ideales para cada nutriente en condiciones edafoclimáticas de la altillanura, para la producción de caucho

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Determinar la norma de diagnóstico y recomendación integral DRIS, para el cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*), bajo condiciones de la altillanura colombiana.

1.2 Objetivos Específicos

- Determinar la correlación entre la fertilidad del suelo y el tejido foliar, mediante la norma de diagnóstico y recomendación integral DRIS en el cultivo de caucho.
- Establecer el orden de requerimiento para los principales macronutrientes en el cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*), bajo condiciones de la altillanura.
- Determinar que desequilibrios nutricionales influyen en la productividad del caucho, mediante la norma DRIS, bajo condiciones de la altillanura.

2. Marco conceptual

2.1 La altillanura colombiana

2.1.1 Descripción geográfica

La Orinoquia colombiana, mejor conocida como los Llanos Orientales, es una gran reserva de recursos naturales, agrícolas, pecuarios y de biodiversidad, de importancia estratégica para el desarrollo del país en las próximas décadas. Cuenta con aproximadamente 17 millones de hectáreas (25% del territorio nacional). En la Orinoquia, se distinguen dos subregiones agroecológicas importantes: el Piedemonte y la Altillanura. El Piedemonte se caracteriza por poseer suelos con fertilidad media a alta, usualmente agrupados en vegas y sobrevegas (Valencia, 2005). La Altillanura se clasifica de acuerdo con su topografía en plana y serranía. La Altillanura plana posee un mayor potencial agrícola con una extensión de 4,5 millones de hectáreas contenida en una franja de 60 km de ancho en promedio, que se extiende al sur del río Meta desde la localidad de Puerto López (Meta) hasta el límite con Venezuela (Cochrane & Sánchez, 1981; Cochrane et al., 1985).

2.1.2 Características ambientales de la Altillanura

La altillanura se caracteriza por tener una temperatura media de 28°C, precipitación anual de 2.200 mm, evapotranspiración potencial de 1.300 mm y humedad relativa de 78%. La época seca comprende los meses de diciembre a marzo, seguida de una época lluviosa, con períodos secos de corta duración (entre 1 y 2 semanas) en julio o agosto (Sanz et al., 1993). Los meses de abril y noviembre marcan los puntos críticos de inicio y final de lluvias respectivamente (Rivas et al., 2004).

2.1.3 Características de los suelos en la Altillanura

A nivel edafológico en la altillanura se considera que la gran mayoría de suelos presentes son del tipo Oxisol que tienen restricciones a nivel químico, caracterizados por una marcada acidez con pH de 3.8 a 5.0, baja disponibilidad de Ca, Mg, K y P y una alta saturación de Al, así como baja capacidad de intercambio catiónico y pobre fertilidad por su bajo contenido de materia orgánica (Sanz et al., 1993). (**Tabla 2-1**). A nivel físico estos suelos presentan una alta susceptibilidad a la erosión (Molina et al., 2003), con una estructura débilmente desarrollada. Estas condiciones en general varían de un lugar a otro afectando en mayor o menor grado la producción de los cultivos. Sin embargo, de ser manejados correctamente mediante preparación adecuada a las condiciones de la zona y el uso de enmiendas suficientes, pueden ser productivos (Amézquita et al., 1997).

Tabla 2-1: Características químicas generales de los suelos de la altillanura plana.

	Textura %			MO %	N	pH	P ppm	meq/100 g de suelo				
	Arcilla	Arena	Limo					K	Ca	Mg	Al	S
Media	25,2	56,6	18,2	2,9	1108	4,7	2,3	0,05	0,14	0,05	1,4	21,6
Var %	53,9	30,9	32,5	32,4	6,1	4,8	36,3	39,6	43,5	33,9	45,3	24,2

Fuente: CIAT, 2001.

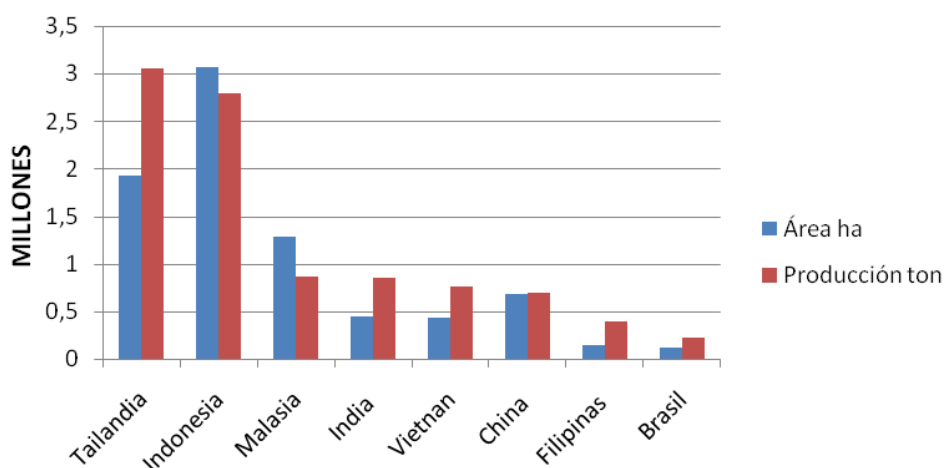
2.2 El cultivo del caucho (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.)

2.2.1 Generalidades

El caucho (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.), es una planta originaria de la región amazónica, pertenece a la familia Euphorbiaceae, es productora de caucho natural por excelencia. El látex es sintetizado en los vasos de lactíferos ubicados en el tejido del floema. Por sus especiales características es materia prima básica para la elaboración de llantas radiales y de avión (100% caucho natural), calzado de goma, adhesivos y en la línea médica (preservativos, catéteres, guantes de goma, mamilas, entre otros productos con valor agregado (Rodríguez, 2009).

Según la FAO el mayor productor de caucho natural del mundo es Tailandia seguido de Indonesia, Malasia e India respectivamente (**Figura 2-1**). En relación a Latinoamérica el mayor productor es Brasil. A nivel de área sembrada esta relación se invierte y la mayor parte se encuentra en Indonesia seguida de Tailandia (Dominguez et al., 2009).

Figura 2-1: Área sembrada y producción de caucho natural en el mundo, para el año 2010.



Fuente: FAOSTAT-FAO Dirección de Estadística 2012-31 mayo 2012

Aunque en las estadísticas mundiales Colombia no se encuentra referenciada, la secretaria técnica nacional de cultivadores de caucho (2009) estima que actualmente Colombia cuenta con 30.356 hectáreas de caucho natural sembradas en los diferentes núcleos heveícolas y una producción de 2.849 ton de caucho. El rendimiento por hectárea del caucho natural varía en los diferentes departamentos encontrando valores desde 1,16 ton ha⁻¹ hasta 1,3 ton ha⁻¹ y los principales departamentos productores son Caquetá, Santander y Meta. (**Tabla 2-2**)

Tabla 2-2: Área sembrada con caucho por departamentos en Colombia

Departamento	Área sembrada (ha)							Producción	
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2008 (ha)	2008 (ton)
Caquetá	3558	3738	4670	4678	5664	6864	7150	1200	1250
Santander	564	864	1794	3479	5475	5475	6315	187	280
Antioquia	169	469	879	1481	2339	3035	4099	188	230
Meta	638	1397	1438	1528	1744	2794	4058	600	700
Córdoba	0	0	30	386	919	1061	1840	0	0
Putumayo	385	626	1226	1226	1226	1357	1804	75	85
Guaviare	494	584	652	772	1100	1100	1486	60	70
Caldas	408	508	578	678	773	773	968	81	105
Vichada	7	7	7	7	107	682	818	0	0
Cundinamarca	236	236	281	311	567	682	721	24	30
Tolima	140	140	160	210	300	330	379	56	84
N. Santander	15	15	165	165	165	165	165	0	0
Bolívar	0	0	50	50	100	130	130	0	0
Nariño	0	0	0	0	0	95	119	0	5
Cauca	0	0	120	120	120	120	120	0	10
Casanare	60	60	60	70	101	101	101	0	0
Arauca	67	67	67	67	67	67	67	0	0
Valle del Cauca	9	9	9	9	9	9	9	0	0
Huila	5	5	5	5	5	5	5	0	0
Quindío	2	2	2	2	2	2	2	0	0
César	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	6757	8727	12193	15244	20783	24847	30356	2471	2849

Fuente: Secretaría Técnica Nacional de cultivadores de caucho-MADR- (2009).

De acuerdo con el International Rubber Study Group –IRSG (2002), el mayor rendimiento por hectárea en el mundo lo reporta Tailandia, país que obtuvo rendimientos de 1.444 ton.ha⁻¹ año⁻¹ de caucho natural, los demás países se encuentran dentro del rango promedio de plantaciones comerciales, entre 0,9 y 1,3 ton.ha⁻¹ año⁻¹. En Colombia se

registran rendimientos muy variables que van desde 0,4 hasta 1,17 ton·ha⁻¹ año⁻¹ que dependen en gran medida del sistema de producción (AGROCADENAS Anuario, 2006).

2.2.2 Clasificación taxonómica

El Caucho (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) en su medio natural (Amazonia), se presenta como un gran árbol de selva, su tronco es recto y cilíndrico, ligeramente troncóncavo hacia la base. Su circunferencia es variable y oscila entre 1 y 3 m, pero se pueden encontrar árboles de 5 m en suelos bien drenados del suroeste de la cuenca amazónica, la altura del caucho es comúnmente superior a los 25 m, encontrándose arboles de hasta 50 m (Compagnon, 1998; Palencia, 2000). El caucho tiene una corteza verde grisácea, las hojas están compuestas de tres folíolos dispuestos en el extremo de un largo pecíolo. Las flores son pequeñas, color amarillo claro y reunidas en racimos que aparecen después de la caída de las hojas. Los frutos están constituidos por una cápsula de tres celdillas que contienen una semilla cada una (Compagnon, 1998). Su clasificación taxonómica se describe a continuación.(**Tabla 2-3**).

Tabla 2-3: Clasificación taxonómica del caucho.

REINO	Vegetal
DIVISION	Anthopyta
CLASE	Dicotiledonea
ORDEN	Euphorbales
FAMILIA	Euphorbiaceae
GENERO	Hevea
ESPECIE	Brasiliensis Mull. Arg.

Fuente: Compagnon, 1988.

2.2.2.1 Raíz

De acuerdo con Schultes (1977) el sistema radical del Caucho es a la vez pivotante y lateral, el desarrollo del sistema pivotante y de las raíces laterales depende del carácter genético de cada individuo, pero el método según el cual las plantas jóvenes son sembradas y el tipo de suelo que se emplea tienen también un papel determinante en la extensión del sistema radicular. En un árbol adulto, las raíces laterales principales (entre 10 a 15%), se sitúan alrededor de la raíz pivotante a una distancia generalmente inferior a 35-40 cm del cuello, se pueden incluso encontrar más allá de los 60 cm, pero poco desarrolladas (Sepúlveda, 1985).

2.2.2.2 Tallo

Según Escobar-Acevedo (2004) el crecimiento del sistema aéreo del Hevea se caracteriza por su carácter rítmico, el aspecto externo y global de este crecimiento rítmico aparece de manera evidente en el eje primario de un hevea joven procedente de semilla, en el cual se puede observar cómo se forman periódicamente los ciclos foliares sucesivos, así el tallo del caucho no crece continuamente sino con cierta periodicidad, formando diferentes pisos foliares.

2.2.2.3 Sistema foliar

El sistema foliar del caucho se caracteriza por presentar hojas trifoliadas. Las hojas se forman por ciclo (verticilio) en la parte superior de cada unidad de crecimiento. Cada hoja está constituida por tres folíolos ovalados bastante acuminados. Estos tres folíolos, de igual dimensión están provistos cada uno de un pecíolo muy corto, tienen el mismo punto de intersección en la extremidad de un pecíolo cuya longitud sobrepasa comúnmente la de los folíolos (Oldeman, 1974). El árbol de caucho se considera perennifolio durante los cinco o seis primeros años de vida, después se comporta como caducifolio cambiando de follaje cada año en épocas de mínimas y/ o máximas lluvias, según el clon y luego se refolia rápidamente (Escobar-Acevedo, 2004).

2.2.3 Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo del caucho

El árbol de caucho a pesar de ser una planta tropical de rápido crecimiento y que se adapta a variadas condiciones, requiere de ambientes ecológicos ideales para lograr una producción óptima (Picón et al., 1999), estas condiciones se mencionan a continuación:

2.2.3.1 Ubicación Geográfica

El Caucho es cultivado en la región ecuatorial entre 10° latitud norte y sur, con mayor producción entre los 6° latitud norte y sur, no obstante hay reportes que se cultiva desde los 22° de latitud norte en China, hasta los 25° de latitud sur en Brasil, siendo consideradas estas zonas como marginales (Escobar-Acevedo, 2004).

2.2.3.2 Temperatura

La temperatura media anual recomendada para el cultivo del Caucho es de 28° C, considerando temperaturas óptimas de 26° a 36° C, temperaturas superiores (media anual) se consideran no óptimas para el cultivo (Wester & Paardekooper, 1989). El caucho también se puede cultivar en lugares con temperaturas abajo o encima de los valores citados, pero con perjuicio para su desarrollo y producción de látex. Bajo la

temperatura ambiente superior a 40°C, presenta dificultades en la producción debido a que la tasa de respiración excede a la tasa de fotosíntesis. Cuando se presentan oscilaciones o variaciones extremas temperatura de 25 a 30° C, entre el día y la noche, hay exudación del látex en plantas jóvenes debido al rompimiento de los vasos laticíferos aspecto que también repercute negativamente en la producción (Picón, 1999; Escobar-Acevedo, 2004).

2.2.3.3 Precipitación

El rango más recomendado es de 2000 a 4000 mm anuales con 100 a 150 días lluviosos por año con una distribución adecuada durante el año, sin una estación seca prolongada. La media es de 1400 a 2000 mm y se considera no adecuada si las precipitaciones son menores de 1400 o mayores de 4000 mm anuales (Aguirre, 1996)

2.2.3.4 Requerimientos edafológicos para el cultivo del Caucho

Los requerimientos edafológicos para cultivo del caucho están dados más a nivel físico que a nivel químico, en general propiedades como la profundidad efectiva superiores a 1.50 m son ideales, también la buena aireación y consecuentemente buena permeabilidad, textura franco-arcillosa (25 a 40% de arcilla) que permita una retención de humedad y buena estructura. En lo relacionado a propiedades químicas el caucho se desarrolla mejor en suelos con pH entre 4,5 y 5,5 (Escobar-Acevedo et al., 2002).

2.3 Nutrición en el cultivo del caucho

2.3.1 Fertilización

El caucho es una planta de regiones con suelos químicamente pobres, pero de buenas características físicas, en este sentido cuando estas limitaciones químicas se corrigen en el momento oportuno, se logra un mejor desarrollo y por ende, una mejor producción (Bataglia, 1987).

En el cultivo del caucho es necesario tener en cuenta los diferentes estadios, para un adecuado manejo de la fertilización ya que dependiendo de su estado fenológico sus requerimientos nutricionales pueden variar de acuerdo al tipo de clon (Bataglia & Santos, 1998). A nivel general el cultivo del caucho presenta las siguientes exigencias nutricionales (**Tabla 2-4**)

Tabla 2-4: Necesidad de fertilización para el cultivo del caucho, de acuerdo a la edad de plantado.

Edad (años)	Necesidad de fertilización (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg
1	11,8	1,4	7,0	4,5	2,1
2	72,3	7,2	41,6	34,9	14,1
3	149,6	14,6	57,9	98,8	20,3
4	351,1	30,0	187,6	168,7	62,8
5	478,9	42,9	151,1	175,0	81,2
6	728,0	63,6	311,8	370,3	118,8
8	558,0	49,4	289,8	414,7	85,0
10	1529,2	141,1	510,6	756,5	241,6

Fuente: Shorrocks, 1965.

Las principales funciones de los nutrientes se describen a continuación:

Nitrógeno: Es el nutriente más importante, ya que representa entre el 3 y 4% de la materia seca. Es requerido en cantidades relativamente grandes debido a que es un elemento esencial para el crecimiento de la planta y forma parte de toda la proteína y la clorofila de la planta de caucho (Valois et al., 1980).

Fósforo: El P es uno de los elementos más deficientes en los trópicos húmedos, su deficiencia genera la baja asimilación en el metabolismo, inhibiendo el crecimiento de la planta. Dentro de la planta de caucho, el P es importante en las reacciones bioquímicas del metabolismo de los carbohidratos, división celular y desarrollo de los tejidos meristemáticos (Jacob & Serres, 1988).

Potasio: En el caucho el potasio cumple funciones en la síntesis de proteínas, aminoácidos, fotosíntesis y en la transformación de carbohidratos (Valois et al., 1980).

Calcio: El calcio es el segundo elemento en cantidad absorbida por el caucho, debido a que es constituyente de la pared celular su importancia radica en la resistencia mecánica que le pueda dar a los tejidos, adicionalmente actúa en el metabolismo del nitrógeno, por lo que su deficiencia causa la no asimilación de nitratos por parte de la planta (Valois et al., 1980;).

Magnesio: El magnesio es el constituyente más importante de la molécula de la clorofila. La deficiencia de Mg restringe el desarrollo debido a la deficiencia de la clorofila y por

ende el proceso de fotosíntesis también se ve afectando reduciendo los rendimientos (Frazão, 1983; Escobar-Acevedo, 2004). En general el Mg es absorbido en menor cantidad que el Ca.

2.4 Métodos de diagnóstico nutricional utilizados en el cultivo del caucho

El diagnóstico nutricional en el cultivo del caucho está asociado a su etapa fenológica, sin embargo en cada una de estas etapas es de vital importancia la realización del análisis de suelos y el análisis de tejido, que permitan la toma de decisiones sobre fertilización en el momento indicado (Shorrocks, 1965). Los análisis de suelos y plantas son herramientas complementarias y se usan como guías para determinar cual o cuales son el o los factores más limitantes para el crecimiento del cultivo. En el caso de los cultivos colombianos la interpretación y recomendaciones nutricionales están basadas en trabajos de Malasia y Brasil.

2.4.1 Análisis de suelos

Según Sumner (2000), los nutrientes en el suelo se hallan en distintas formas que varían en nivel de disponibilidad, muchos nutrientes se encuentran en la solución del suelo (inmediatamente disponibles pero en pequeñas cantidades), en forma intercambiable (rápidamente disponible en grandes cantidades), o dentro de la estructura cristalina de las arcillas (lenta a muy lentamente disponible en grandes cantidades), por lo que para que un análisis de suelo provea información significativa para predecir requerimientos de fertilización de un cultivo, debe ser capaz de evaluar las cantidades del nutriente en aquellas categorías que estarán disponibles para el cultivo a diferentes tasas a lo largo de la estación de crecimiento. La forma más utilizada para la interpretación de análisis de suelos en el caucho son los niveles de referencia (**Tabla 2-5**) que han sido construidos por diferentes autores y bajo condiciones locales.

Tabla 2-5: Interpretación análisis de suelos para el cultivo del caucho (Pushparajah, 1977).

Parámetro	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
C (%)	<0,5	0,51-1,50	1,51-2,50	>2,6
N (%)	<0,10	0,11-0,20	0,21-0,40	>0,41
P (mg kg ⁻¹)**	<11,0	11-20	21-30	>31
K (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)*	<0,5	0,51-2,0	2,1-4,0	>4,1
Mg (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)*	<0,75	0,8-3,0	3,1-8,0	>8,1

** Extraído por Bray II; * Extraídos com HCl 6N

2.4.2 Análisis de tejido

El análisis del tejido posibilita un diagnóstico más adecuado del estado nutricional en las plantas, ya que sus resultados permiten identificar situaciones no definidas a nivel visual (Bataglia & Santos, 1998).

Según Malavolta (1997) en el cultivo de caucho es importante la forma como se toma la muestra de tejido ya que para plantas jóvenes (menos de 4 años) estas se debe tomar de la parte superior y expuesta al sol, mientras que para plantas adultas es necesario tomar las hojas de las ramas sombreadas, en este sentido los niveles de referencia (**Tabla 2-6**) se han construido en base a estas características y comúnmente son interpretados en base a la aproximación por valores críticos o rango de suficiencia.

Tabla 2-6: Concentraciones adecuadas de nutrientes en las hojas de caucho en Malasia (Pushparajah & Ten, 1972)

NUTRIENTE	NIVEL DEL NUTRIENTES			
	BAJÓ	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
N (%)	< 3,3	3,31-3,70	3,71-3,90	>3,91
P (%)	< 0,19	0,20-0,25	0,26-0,28	>0,28
K (%)	<1,35	1,35-1,65	1,65-1,85	>1,90
Mg (%)	< 0,2	0,20-0,25	0,26-0,30	>0,3
Mn (ppm)	< 45	45-150	151-300	> 300

En la aproximación por el valor crítico, la calibración se realiza graficando la concentración del nutriente en hoja en un estadio de crecimiento específico en función del rendimiento relativo obtenido de datos provenientes de ensayos de campo con diferentes dosis de fertilizante para un nutriente en particular. El valor crítico es aquel al cual se obtiene el 90% del rendimiento relativo máximo. Este valor crítico se determina para cada nutriente en particular y se compara como un estándar con el valor determinado en la muestra a diagnosticar (Sumner, 2000).

Debido a que en esta aproximación se considera cada nutriente por separado, se ignoran los efectos de interacción entre nutrientes, las que pueden causar grandes variaciones en el valor crítico (Ángeles et al., 1993). Para cuantificar dichas variaciones, más que un simple valor crítico se usa el rango de suficiencia que se define como el rango de concentración entre el nivel crítico y la concentración por encima de la cual se produce toxicidad en un cultivo determinado (Munson & Nelson, 1990), aunque esto contribuye a una pérdida en la exactitud del diagnóstico.

El mayor problema de este tipo de aproximaciones proviene de la dificultad de asegurar que el tejido para el diagnóstico es tomado en el mismo estadio de desarrollo al usado para establecer el valor crítico, ya que para poder utilizar este criterio en el diagnóstico del estado nutricional del cultivo, debe muestrearse el mismo tejido vegetal y en la misma época en que fue determinado el estándar nutricional, debido a que la concentración de los distintos nutrientes en hoja varía a lo largo del periodo de crecimiento del cultivo (Teixeira et al., 2007).

2.5 Sistema de diagnóstico y recomendación integral (DRIS)

El diagnóstico nutricional de una planta depende de valores de referencia, como lo son la concentración crítica y óptima de uno o varios nutrientes, principalmente en sus hojas. Estos valores son por lo general obtenidos bajo condiciones controladas (Bhargava & Chadha, 1988), por lo que al momento de trasladar estos resultados a ambientes de cultivo no controlados los resultados no son los mejores, lo que hace que el diagnóstico del estado nutricional de las plantas este muy restringido (Needham et al., 1990). Por lo tanto, una alternativa práctica y eficaz sería el uso de la información relacionada con la nutrición y la producción en diversos campos comerciales de una región determinada, para así obtener valores basados en las explotaciones agrícolas de alta producción, que puedan ser aplicados bajo las condiciones edafoclimáticas de esta misma región (Beaufils, 1973).

En este sentido Beaufils (1973), propone el Sistema de Diagnóstico y Recomendación Integral (DRIS), a partir de trabajos de fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de caucho (Beaufils, 1971) en Vietnam, y posteriormente en cultivos de caña de azúcar y maíz en Suráfrica (Beaufils, 1957, 1971; Beaufils & Sumner 1976, 1977). Este método se basa en la utilización de las relaciones entre los nutrientes, en lugar de la concentración absoluta o individual, para la interpretación de análisis de tejidos.

El método DRIS expresa resultados del diagnóstico nutricional, a través de índices, que se presentan en una escala continua numérica, la cual puede ser positiva si el nutriente esta en exceso o negativa si el nutriente es deficiente, cuanto más el valor se acerque a cero más cerca estará la planta de un adecuado balance nutricional, lo que permite ver el efecto de cada nutriente en el equilibrio nutricional de una planta, (Beverly, 1991; Walworth & Sumner, 1987).

Los principales argumentos de la metodología DRIS están dados sobre bases como que las relaciones entre los nutrientes son con frecuencia mejores indicadores de deficiencias de nutrientes que los valores de concentraciones aislados. Así mismo, algunas relaciones de nutrientes son más importantes que otras, por lo que los rendimientos máximos se alcanzaran solo cuando importantes relaciones se encuentren cerca de los valores ideales u óptimos que se obtienen de las poblaciones de alto rendimiento seleccionadas (Rocha et al., 2007).

Como consecuencia de lo establecido, la varianza de una proporción importante de nutrientes es menor en un alto rendimiento (población de referencia) que en una población de bajo rendimiento, y las relaciones entre las variaciones de las poblaciones de alto y bajo rendimiento se puede utilizar en la selección de nutrientes. Los índices DRIS se puede calcular de forma individual, para cada nutriente, con la desviación media de la proporción obtenida de la comparación con el valor óptimo de una proporción de nutrientes, quedando así, como se ha señalado por Jones (1981), Walworth & Sumner (1987), que el valor ideal del índice DRIS para cada nutriente debe ser cero.

En general, el DRIS tiene algunas ventajas sobre otros métodos de diagnóstico ya que presenta escala continua y de fácil interpretación, permite la clasificación de nutrientes (de los más deficientes, hasta los más excesivos), puede detectar los casos de limitación de rendimiento debido al desbalance de nutrientes, incluso cuando ninguno de los nutrientes está por debajo del nivel crítico, y por último, permite el diagnóstico nutricional total de la planta, a través de un índice de desequilibrio (Baldoek & Schulte, 1996).

Cuando el sistema DRIS se compara contra una técnica convencional, como es la de valor crítico (CNR), el DRIS presenta mayores ventajas ya que este es independiente de la edad, condiciones de clima, suelo, prácticas culturales, porción y posición de la hoja muestreada (Malavolta et al., 1997), de tal manera que el análisis por valor crítico (CNR) es ineficiente para diagnosticar de la misma forma el estado nutricional de la planta en cualquier condición y época (Mourão-Filho, 2004).

Beaufils (1973), teniendo en cuenta las limitaciones de los métodos de diagnóstico tradicionales, propuso una opción a la cual llamo DRIS definiendo que, en general, nitrógeno, fósforo y potasio, disminuyen las concentraciones con la maduración del tejido, por lo tanto, las relaciones N / P , N / K , y P / K (o relaciones recíprocas) se mantendrán constantes. De la misma manera, debido a que las concentraciones de Ca y Mg generalmente aumentan con la maduración, los cocientes entre estos nutrientes (Ca / Mg y Mg / Ca) debe dar lugar a valores constantes. Por otra parte, el producto de dos nutrientes, con concentraciones corriendo en direcciones opuestas con el tiempo ($N \times Ca$, por ejemplo), también debe permanecer constante.

2.5.1 Establecimiento de las normas DRIS

El primer paso para la aplicación de cualquier método de diagnóstico nutricional es el establecimiento de estándares o normas, y lo mismo se aplica para el método DRIS.

Las normas DRIS se obtienen siempre de una base de datos en la cual se recolecta información de plantas con un alto rendimiento, llamada población de referencia, y una población conformada por plantas de bajo rendimiento llamada población de baja producción (Beaufils, 1973; Beverly, 1991; Walworth & Sumner, 1987). Las características de la subpoblación de alto rendimiento están dadas por ser plantas que no están influenciadas por las condiciones adversas y su rendimiento actual es significativamente más alto que un nivel establecido arbitrariamente, de acuerdo a la

producción establecida para la zona de estudio, entre tanto, que la población de baja producción está conformada por plantas anormales o influenciadas por otros factores, con rendimientos más bajos que los establecidos como base de producción (Beaufils, 1973; .

Varias investigaciones han revelado que la selección de la población de referencia es un factor importante para la eficacia y el éxito del sistema DRIS. Walworth & Sumner (1987) afirman que el límite de referencia para separar dos grupos de poblaciones debe ser elegido arbitrariamente, debido a que cada sub-población debería presentar una distribución normal. Otros autores recomiendan que la población de referencia contenga, al menos, el 10% de las observaciones de la base de datos global (Letzsch & Sumner, 1984). En cultivos como el de la naranja valencia, la población de referencia se obtuvo a través de la selección del 20% de las plantas más productivas, encontrando que los valores obtenidos fueron comparables a los reportados previamente en la literatura (Rodríguez et al., 1997).

Las bases de datos para la definición de las normas pueden tener un tamaño variable en función de las localidades en las que se adopten el método y debe ser uniforme, con respecto a las características de los cultivos (Rocha et al., 2007; Silva et al., 2005).

La literatura científica reporta una gran variación en el tamaño de las bases de datos para definición de las normas DRIS, que varían desde sólo 24 observaciones (Leite, 1992) hasta aproximadamente 2800 (Sumner, 1977) o incluso más. Sin embargo, aunque estas últimas normas presentan una alta calidad, también representan una mayor zona, porque se refiere a una población de todas las variedades de maíz y de todo el territorio del sur de África, mientras que la primera se origina de plantas de café, cultivadas en el norte del estado de Espírito Santo (Brasil). Así, Reis (2002) afirma que el uso de normas universales no es adecuado y que es preferible la construcción de normas locales, que representen las características de una región de producción específica.

Según Letzsch & Sumner (1984) las normas DRIS demasiado genéricas pueden afectar negativamente a la eficacia del diagnóstico, ya que, a pesar de la cantidad de datos, la calidad de observación debe ser objetiva para la elección de la base de datos. Normas obtenidas de una gran base de datos derivados de diferentes tipos de suelos, climas y cultivos, habitualmente no se pueden generalizar, y solo serán consideradas representativas de la misma si se incluye toda la variabilidad de la población. Por lo tanto, estos atributos deben ser previamente bien definidos y reunidos para formar la base de datos de forma adecuada (Galíndez et al., 2009).

En general diversas conclusiones han surgido de trabajos realizados con normas obtenidas localmente y normas generales o universales. Rocha et al. (2007); Silva et al. (2005) y Galíndez et al. (2009) afirman que el tamaño de la base de datos puede no estar directamente relacionado con la calidad estándar de la norma. Normas DRIS se han desarrollado a partir de 10 análisis de tejido para el caso del maíz, con rendimientos superiores a 18 ton ha⁻¹, y fueron más representativas y eficientes que las normas

derivadas de grandes bases de datos (Walworth et al., 1988). En contraposición Reis Junior (2002) afirma que existe la posibilidad de la utilización de normas universales siempre y cuando las condiciones de cultivo de ambas subpoblaciones (referencia y muestras) sean similares.

Con las poblaciones de referencia y baja producción establecidas se procede a la obtención de las relaciones que se convertirán en normas (Mourão-Filho, 2004), las cuales están constituidas por las relaciones entre todos los pares de nutriente de forma directa o inversa y su respectiva desviación estándar y coeficiente de variación (Beaufils, 1973). En la selección de las normas solo una relación de las dos posibles se elige para cada par de nutrientes (Ribeiro & Roque, 2007; Letzsch, 1985; Walworth & Summer, 1987).

Son varias las metodologías propuestas para la selección de las relaciones ideales u óptimas que se escogen como normas para los diferentes cultivos; entre las metodologías más ampliamente conocidas se destacan la propuesta original de Beaufils (1973) conocida como la prueba "F" que se basa en la relación de las varianzas de las poblaciones de alta y baja producción, con el fin de determinar las relaciones con menor variabilidad (menor varianza) en la población de alto rendimiento (Franco, 2007). Otras metodologías como la denominada prueba "t" propuesta por Jones (1981) y la prueba R propuesta por Nick (1998) y mencionada por Mourão-Filho & Acevedo, 2003; Mourão-Filho, 2004) también son utilizadas en la selección de las relaciones para las normas DRIS.

Según el método clásico (Beaufils, 1973), se elige la relación que presente diferencias significativas en las varianzas por medio de la prueba F. Jones (1981) afirma que el solo uso de la prueba F no es suficiente para la elección de las relaciones que serán normas, para ello propuso el uso de la prueba "t" entre medias de las dos poblaciones; con ello pueden ser elegidas un mayor número de relaciones.

Es importante mencionar que elementos cuyo contenido respecto a la edad de la planta va en el mismo sentido, el cociente es la mejor forma de expresión para las normas, mientras que cuando se relacionan elementos cuyos contenidos van en direcciones opuestas con la edad del tejido (uno aumenta y el otro disminuye) la forma de expresión más adecuada es el producto con el fin de que los resultados no sean afectados por la edad del tejido (Sumer, 1982).

En este sentido Beverly et al. (1984), al diagnosticar el estado de los elementos N, P, K, Ca, y Mg en las hojas de naranjo "Valencia", mediante normas basadas en el sistema DRIS, al relacionar estos elementos en forma de cocientes, se concluyó que los índices de los nutrientes fueron afectados por la edad de la hoja.

En contraposición, Sumner (1982) y Walworth & Sumner (1987), realizaron un análisis de los mismos datos, pero expresando las relaciones que conciernen al Ca y el Mg, en forma de productos, (p.e. $N \times Ca$), en vez de cocientes (N/Ca o Ca/N), encontrando que

la edad de la hoja del naranjo, no tenía un efecto sustancial en los diagnósticos nutricionales arrojados por el sistema DRIS.

2.5.2 Diagnóstico mediante DRIS

El diagnóstico nutricional mediante DRIS se realiza a partir del cálculo de índices, que dependen inicialmente de la construcción de normas de referencia a partir de la relación en forma de cociente y producto que se establezcan para un cultivo en particular (Costa, 199; Dias et al., 2011)

En este sentido una vez obtenidas las normas, para el diagnóstico nutricional Mourão-Filho, (2004) afirma que la forma adecuada de realizar la interpretación es primero obtener las funciones para cada forma de expresión y luego calcular los índices para cada elemento

La aproximación por DRIS usa índices calculados como el desvío del valor normal para cada nutriente. Así, un valor negativo indica deficiencia relativa, uno positivo indica exceso y un valor cero indica balance ideal Mourão-Filho, (2004).

La manera más correcta de interpretar un índice es entendiendo que el valor del índice es una probabilidad de respuesta a una acción, esto es, si un índice es más negativo que otro, existe una mayor probabilidad de respuesta en el cultivo (incremento en la producción) a la aplicación de éste. De igual forma, si un elemento tiene un índice de mayor valor positivo que otro, existe una mayor probabilidad de respuesta a dejar de aplicarlo (Franco, 2007).

Con los índices calculados para cada elemento los valores obtenidos se ordenan de mayor a menor y se establece el orden en que cada nutriente limita el rendimiento en la muestra analizada (Walworth & Sumner, 1987; Bataglia et al., 1992; Rodriguez & Rodriguez, 1997; Rodrigues et al., 1999). Al respecto Ruíz & Cajuste (2002) mencionan que este balance no quiere decir que un nutriente se encuentre literalmente en deficiencia o exceso, pues lo que implica este es el desbalance que puede presentar con respecto a otros nutrientes.

Los IBN DRIS determinan la magnitud del desequilibrio nutricional con respecto al valor óptimo de los nutrientes en el cultivo, por lo tanto, mientras mayor sea el desequilibrio nutricional en el suelo y en el tejido, mayor serán los valores de los IBN y, mientras menor sea el desequilibrio del nutriente con respecto al valor óptimo, ese valor tiende a cero (Sumner, 2000).

Se ha reportado que altos valores de IBN están relacionados con bajos rendimientos y a su vez los cultivos con altos rendimientos tienen bajos valores de IBN (Coleman, 2003; Silva et al., 2004; Hundal, 2005).

Por otro lado, el índice de balance de los nutrientes (IBN) por sí solo no es determinante para un adecuado diagnóstico del potencial de rendimiento de un cultivo, ya que la

precisión de un diagnóstico foliar depende de la constancia en la relación entre la composición foliar, la composición del suelo y la respuesta del cultivo (Sumner, 2000).

Para un adecuado diagnóstico del potencial de rendimiento de un cultivo, se requiere adicionalmente establecer la correlación entre el rendimiento o cualquiera de sus componentes y los IBN, para que de esa manera se pueda predecir el rendimiento o cualquier otro componente de interés (Sumner, 2000).

Muchos autores han propuesto diferentes formas de establecer cuándo un índice de balance indica realmente una limitación para el cultivo. Wadt (1999) propone el uso del índice de balance nutricional medio (IBN_m) como valor de referencia para determinar cuando un elemento es considerado como limitante. Esta interpretación se conoce como potencial de respuesta a la fertilización (PRF) y se basa en que los índices individuales de cada elemento con valores superiores al IBN_m tienen probabilidad de respuesta a la aplicación de este elemento, mientras que los menores se consideran con poca o ninguna probabilidad de respuesta (Franco, 2007).

2.6 Análisis de componentes principales (ACP) y Clúster

Según Stenberg (1998) dentro de las técnicas de estadística multivariada más utilizadas para las ciencias agrícolas, se encuentra el análisis de componentes principales (ACP), que es una técnica estadística que sintetiza la información, es decir, construye nuevas variables como resultado de la combinación lineal de las variables originales, reduciendo así el número de variables y analizándolas como componentes, para la explicación de un todo.

El ACP es un método esencialmente descriptivo, por lo tanto, según sean los objetivos particulares del estudio que se realiza, el ACP podrá ser suficiente para alcanzar el objetivo, o no representar más que una primera aproximación indispensable, pero preliminar, para el empleo de otros métodos estadísticos (Philippeau, 1990).

Christophersen & Hooper (1992) citado por Demey et al. (1994), señalan que el uso del ACP es el primer paso en el análisis de factores y es menos dependiente de las decisiones subjetivas, a diferencia de otros métodos. Así, de acuerdo con Chatfield & Collins, 1980; Pla, 1986 y Philippeau, 1990, los componentes principales resumen en pocas dimensiones la mayor parte de la variabilidad de un gran número de variables, por lo que los componentes principales sucesivos corresponden a porcentajes cada vez menores de la varianza total y el problema consiste en determinar cuántos componentes pueden ser interpretados.

Desde sus orígenes, el ACP tiene aplicación a ciertas tareas de diagnóstico o predicción y es una poderosa técnica multivariada que puede ser aplicada a un sin número de problemas en las ciencias. De este modo, el método ACP ha sido utilizado en investigaciones de clasificación de áreas homogéneas de suelos (Ovalles & Collins, 1988); y en otras ciencias agrícolas como la fitopatología (Shuh et al., 1987)

El análisis clúster es un procedimiento estadístico que parte de un conjunto de datos que contiene información sobre una muestra de entidades e intenta reorganizarlas en grupos relativamente homogéneos a los que se llama clúster.

El Análisis de clúster (o Análisis de conglomerados) es una técnica de análisis exploratorio de datos para resolver problemas de clasificación. Su objeto consiste en ordenar variables en grupos (conglomerados o clúster) de forma que el grado de asociación y similitud entre miembros del mismo clúster sea más fuerte que el grado de asociación y similitud entre miembros de diferentes clúster. Cada clúster se describe como la clase a la que sus miembros pertenecen (Villardón, 2002).

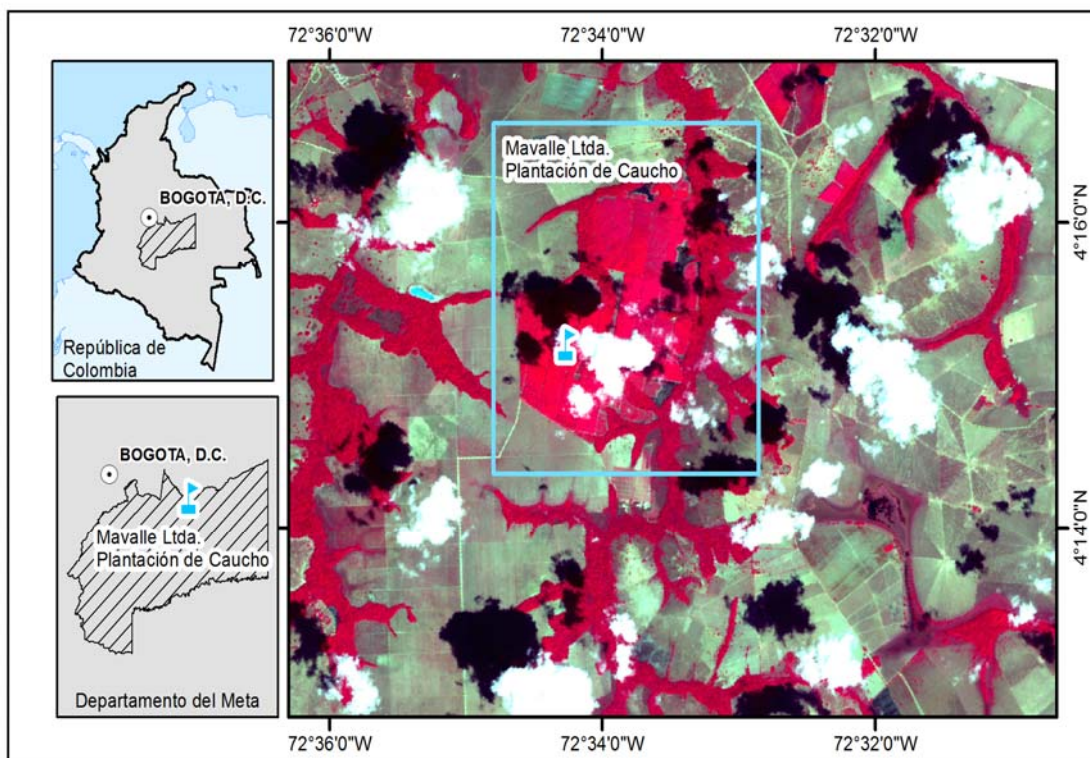
Los resultados del análisis clúster se representan mediante dendogramas que son una representación gráfica en forma de árbol en la que resume el proceso de agrupación de un análisis de clúster, allí los objetos similares se conectan mediante enlaces cuya posición en el diagrama está determinada por el nivel de similitud o disimilitud entre estos (Ludwig & Reynolds, 1998).

3. Materiales y Métodos

3.1 Caracterización del área de estudio

La investigación se desarrolló en plantaciones comerciales de caucho (dos lotes de 5 ha), con árboles que oscilan entre 10 y 12 años de edad perteneciente a la empresa Mavalle S.A., ubicada en el municipio de Puerto López (Meta), con coordenadas geográficas 4°25'32,82" N, 72°57'10,29" W,(Figura 3-1) a una altura de 184 msnm. La zona presenta una precipitación anual entre 2100 y 2300 mm, una temperatura entre 24,8 °C y 26,2 °C y una humedad relativa de 85% en la época lluviosa y 65% en la época seca, el estudio se.

Figura 3-1: Ubicación geográfica finca Mavalle S.A.



Para definir taxonómicamente el suelo y teniendo en cuenta que los dos lotes se encuentran en una misma forma de terreno y en ambientes edafogenéticos similares se realizó la descripción, muestreo y análisis de los horizontes en una calicata (IGAC, 2007) en la zona de estudio. Siguiendo la metodología de la Keys Soil Taxonomy (2010), el suelo se clasificó como un Inceptic Hapludox (**Figura 3-2**) (**Anexo 3**), que se encuentra ubicado en el paisaje de altiplanicie estructural y el tipo de relieve corresponde a mezas y superficies onduladas con pendientes entre 0 y 7 %.

Figura 3-2: Perfil modal de suelos finca Mavalle S.A.



El suelo se caracteriza por ser muy fuertemente ácido, con saturación de aluminio mayor del 50%, saturación de bases inferior al 25% y CIC baja ($2,33 \text{ cmol}_{(+) } \text{ kg}^{-1}$). En el momento del estudio, el suelo presentó un pH de 4,78, bajo contenido de P ($3,60 \text{ mg kg}^{-1}$), altos valores de aluminio ($1,40 \text{ cmol}_{(+) } \text{ kg}^{-1}$), así como bajos contenidos de Ca, Mg, K, Na ($0,41, 0,12, 0,07$ y $0,06 \text{ cmol}_{(+) } \text{ kg}^{-1}$, respectivamente). A nivel físico el suelo tiene textura franco arcillo arenosa, profundidad efectiva profunda, estructura en bloques subangulares finos y medios y consistencia en húmedo friable.

3.2 Toma de muestras y análisis de laboratorio

El muestreo se realizó en dos lotes de 5 ha, uno plantado con el clon FX 3864 y otro con el clon RRIM 600. En cada lote se implementó una malla de puntos de 12,6 m X 32,6 m y se tomaron 80 muestras de suelos a una profundidad de 0,20 m en el mes de Junio del año 2010.

Las muestras de suelos fueron llevadas a laboratorio y a nivel químico se determinaron los contenidos de carbonó orgánico, mediante el método modificado de Walkley Black;

pH mediante potenciómetro en relación 1:1; acidez intercambiable y aluminio intercambiable por titulación; fosforó por el método de Bray II; contenidos de Ca, Mg, K y Na mediante acetato de amonio pH 7,0 y lectura en equipo de absorción atómica. A partir de estos resultados se estimó la capacidad de intercambio catiónica efectiva, la suma de bases y saturación de bases. La caracterización de las muestras se realizó acorde con las especificaciones de métodos analíticos de laboratorio para análisis de suelos (IGAC, 2006).

En los mismo sitios donde se realizó el muestreo de suelos también se tomaron 80 muestras de tejido vegetal por cada clon, recolectando de dos a tres hojas de sombra maduras, ubicadas en la base del tercio superior de la copa, de la segunda ramificación y en ubicación norte franco de cada árbol, entre las 06:00 y 10:00 h, con la finalidad de disminuir la variabilidad, ya que existen cambios en los contenidos nutritivos de las hojas a lo largo del día (Malavolta et al., 1997). De estas muestras se retiraron los peciolo y se secaron en un ambiente fresco, antes de ser enviadas al laboratorio.

Las muestras foliares tomadas en el mes de Junio y fueron llevadas a laboratorio, mediante digestión seca y absorción atómica se determinaron los contenidos de K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn y Zn, colorimetría para P y B; digestión húmeda y método Kjeldahl (Jones Júnior et al., 1991) para N y turbidimetría para S. Las muestras fueron analizadas en base a la metodología para análisis foliares del IGAC (2006).

Tanto las muestras de suelos como foliares fueron analizadas en el laboratorio de Corpoica Tibaitata, con las metodologías anteriormente mencionadas.

Una vez recolectadas las muestras de suelos y foliares adicionalmente se tomaron tres lecturas de látex con el fin de obtener la producción para cada punto. Teniendo en cuenta que la producción del caucho está muy asociada a la precipitación pluvial, ya que las lluvias se convierten en un factor que favorece la mayor disponibilidad de azúcares prontamente asimilables en los tejidos lactíferos, lo que conlleva a una mayor producción (Lima, 2002; Figueiredo, 2004) y con el objetivo de obtener datos confiables, estas lecturas se tomaron en los meses de junio, donde se concentra la mayor producción y a su vez la mayor precipitación (328,1 mm); agosto, mes de producción y precipitación media (184,1 mm); y diciembre, donde la producción y precipitación es baja (69,3 mm). Estas mediciones se realizaron en el año 2010. La media de las tres lecturas se multiplicó por la densidad de siembra por hectárea, la cual corresponde a 450 árboles. El valor que se obtuvo se multiplicó por 72, ya que este es el número de sangrías al año. Finalmente de este valor se estima que el 33% corresponde a producción de caucho seco, con lo cual se obtiene la producción por año.

3.3 Procesamiento de datos

Una vez recolectadas las muestras de suelos y foliares, sus resultados fueron procesados y se construyó una base de datos para cada clon, la cual incluyó información de resultados de laboratorio en lo referente a análisis de suelos y de tejido. Se incluyó en

la base de datos el resultado de las tres mediciones de látex realizadas y la media de estas junto con el dato final de producción con la transformación a caucho seco.

3.3.1 Análisis estadístico

Dentro de los factores que más afectan la productividad del cultivo del caucho se encuentran los nutricionales y allí la correcta utilización de los fertilizantes puede hacer la diferencia tanto a nivel ambiental como a nivel económico. Aunque la fertilidad y la disponibilidad de nutrientes son un indicador de la calidad de los suelos no siempre estos tienen correlación directa con los niveles presentes en la planta y con la producción ya que existen factores diferentes a la simple presencia de los elementos en el suelo como la humedad, luminosidad y estructura que afectan la absorción por la planta (Raij et al., 1997).

En este sentido es de vital importancia establecer la correlación existente tanto a nivel edafológico como a nivel foliar para determinar los factores que más influyen en la producción y establecer la dependencia conjunta mediante la interrelación entre múltiples variables del suelo y del tejido, aspecto que se puede lograr mediante técnicas de estadística multivariada (Fidalski et al., 2007).

Así, los resultados fueron analizados de forma independiente para cada clon mediante estadística descriptiva y análisis multivariado de las variables foliares y edafológicas, buscando similitudes y disimilitudes entre los dos clones, con el fin de evaluar la conveniencia de estudiarlos por separado o no en análisis posteriores (DRIS).

Para el análisis multivariado inicialmente se realizó análisis de factores por componentes principales (ACP) y análisis clúster estandarizando previamente los valores con media cero (0) y varianza uno (1) (Manly, 1997).

Para facilitar la interpretación de cada componente en el ACP, se aplicó la rotación de Varimax y se seleccionaron aquellos componentes que presentaron valores propios iguales o mayores de uno. En el análisis clúster se utilizó el algoritmo Ward, que calcula la distancia a través de la suma de los cuadrados entre dos grupos, incrementándose a lo largo de todas las variables con el fin de conformar grupos de variables que pudieran explicar la producción mediante la generación de Dendogramas. Adicionalmente se realizaron mapas de contorno para cada clon con el fin de identificar la distribución de la producción en cada lote.

Una vez obtenidos los componentes se realizaron círculos de correlaciones para la producción de cada clon. Para este fin la producción se subdividió en cuatro grupos: producción alta (PA), producción media alta (PMA), producción media baja (PMB) y producción baja (PB). Luego se integraron las variables foliares y edafológicas con el fin de observar la posible influencia de los elementos de forma discriminada dentro de un mismo clon en los diferentes grupos de producción.

Las subdivisión de las poblaciones se realizó mediante cuartiles con la organización de los datos de mayor a menor producción y de allí los primeros 19 cuartiles se consideraron como PA, los siguientes 19 como PMA, los siguientes 19 como PMB y los restantes como PB, repitiendo este procedimiento para los dos clones. Los análisis estadísticos se obtuvieron utilizando el programa estadístico SPSS v.20 (SPSS Inc., Chicago, IL).

3.3.2 Obtención de las normas DRIS, foliar y de suelos

Para la determinación de las normas DRIS a nivel foliar y de suelos se empleo el siguiente procedimiento (Sumner, 1977):

1. Se recolectó la base de datos (foliar y de suelos) y su respectivo rendimiento, conformando la base de datos con dos grupos, uno de alto rendimiento y otro de bajo rendimiento, para lo cual se tomaron los valores de producción que estuvieron por encima del cuartil superior de rendimiento y se llamó "población de alta producción", los que se ubicaron por debajo de este cuartil se consideraron como de bajo rendimiento y se les denominó "población de baja producción".
2. Se calcularon las relaciones en forma de cociente para los nutrientes de las dos poblaciones.
3. Para elementos cuyo contenido disminuye con la edad como el N y su relación con los que aumentan con la edad como el Ca, estas relaciones se calcularon como productos.
4. Una vez obtenidas las relaciones para los elementos, se calculó la varianza y el coeficiente de variación para cada relación.
5. Se dividió la varianza de cada una de las relaciones de la población de baja producción sobre la varianza de la población de alta producción.
6. Se seleccionaron las relaciones que se convirtieron en normas, las cuales deben tener una forma de expresión para cada par de elementos, escogiendo una de las dos formas posibles. Para este fin, se eligieron las relaciones que presentaron la mayor relación entre varianzas entre las poblaciones de menor producción sobre las de mayor producción, considerando estas como norma.

Con el fin de unificar las formas de expresión de los nutrientes y facilitar el manejo de cifras, en el análisis de tejido foliar los elementos reportados en % se multiplicaron por 100 (Arboleda, 1988; Franco, 2007).

3.3.3 Obtención de los índices DRIS, foliar y de suelos

Una vez establecidas las normas DRIS se calcularon los índices DRIS utilizando como muestras de referencia la media de las concentraciones de los nutrientes de la población de bajo rendimiento, esto con el fin de identificar los posibles desbalances nutricionales y establecer el orden de requerimiento para cada uno de los nutrientes tanto a nivel foliar

como de suelos; lo anterior teniendo en cuenta que es en la población de baja producción donde se manifiestan estos desbalances (Sánchez et al., 2009).

Para el cálculo de los índices DRIS fue desarrollada la metodología original propuesta por Beaufiglioli (1973) y descrita por Franco, (2007) y Silva & Carvalho (2005) que utilizan las siguientes ecuaciones:

$$I_A = \frac{F(A/B) + F(A/C) - F(D/A) + \dots + F(A/N)}{Z} \quad (1)$$

Donde: cuando $A/B \geq a/b$ entonces se aplicó la ecuación 2

$$F(A/B) = \left[\frac{A/B}{a/b} - 1 \right] \times \frac{1000}{CV} \quad (2)$$

O cuando $A/B < a/b$ entonces, entonces se aplicó la ecuación 3

$$F(A/B) = \left[1 - \frac{a/b}{A/B} \right] \times \frac{1000}{CV} \quad (3)$$

Donde A/B es el valor obtenido entre la relación de dos elementos en el tejido de la planta que va a ser diagnosticado p.e (N/P).

a/b: es el valor óptimo de la norma de dicha relación,

CV: es el coeficiente de variación asociado a la norma, y

Z: es el número de funciones que corresponde al índice del nutriente.

Cuando se calculó el índice para cada elemento se procedió a estimar el índice de balance nutricional (IBN), que consiste en la suma algebraica de los valores absolutos de

cada I_A (ecuación 4). Este valor ha sido correlacionado con los rendimientos mostrando una similitud significativa y un alto coeficiente de determinación (r^2) (Mourão-Filho, 2004).

(4)

$$IBN = |I_A| + |I_B| + |I_C| + \dots + |I_N|$$

Por último se calculó el índice de balance nutricional medio (IBNm) (Wadt, 1999) que se obtiene dividiendo el IBN entre el número de índices de nutriente tenidos en cuenta en el diagnóstico (ecuación 5).

(5)

$$IBN_M = \frac{IBN}{N}$$

Donde N es el número de elementos considerados en el diagnóstico.

4. Análisis de Resultados y Discusión

4.1 Análisis univariado y multivariado

La estadística descriptiva realizada en los dos lotes muestra que para los dos suelos las propiedades estudiadas presentan diferencias en el contenido de algunos nutrientes, especialmente en lo referente al K, siendo superiores los contenidos para el suelo donde se encuentra el clon RRIM 600.

Al realizar Anovas (Anexo A) con el fin de identificar puntualmente las variables que presentan diferencias a nivel de suelos, comparando cada una de forma individual de acuerdo con el tipo de clon, se observa que en la mayoría de las variables no existe diferencias significativas, solo en las variables pH y K se presentan diferencias altamente significativas, lo que evidencia un suelo con características homogéneas.

Si se tiene en cuenta que los dos clones son manejados a nivel nutricional de la misma forma, los contenidos superiores de K se pudrían presentar por la mayor habilidad que tiene el clon RRIM 600 para retranslocar y regresar al suelo elementos, especialmente el K y el Ca, como es referenciado por Murbach et al., (2003) quienes encontraron que en plantaciones de caucho cultivadas con el clon RRIM 600, los nutrientes que más se restituyen al suelo a través de sus hojas, semillas y madera son el K y el Ca, por lo que sus contenidos pueden ser mayores en suelos sembrados con este clon, factor que de acuerdo con Bataglia et al., (1988) influye en la producción ya que evaluando la situación nutricional de plantaciones de caucho en el estado de São Paulo (Brasil), encontraron que mayores contenidos de K en el suelo estaban relacionados con mayores producciones en todas las plantaciones estudiadas.

En cuanto al pH se observa que está influenciado por los niveles de Al y Ca en el suelo, aunque el Anova no muestra diferencia significativa en los contenidos de un suelo con respecto al otro, mediante la estadística descriptiva si se evidencia un mayor contenido de Ca y un menor contenido de Al en el suelo correspondiente al clon RRIM 600, por lo que el pH presenta un mayor valor para este clon y un menor valor en el clon FX 3864. Al respecto Castro et al., (2001) menciona los efectos positivos sobre la producción de la aplicación de cal al suelo y los efectos negativos del Al sobre la absorción de N, P y K en cultivares de caucho en el estado de São Paulo.

Los valores de materia orgánica (MO) (**Tabla 4-1**): indican que estos son similares para los suelos en los dos clones, sin embargo son superiores a los reportados por Camacho-

Tamayo et al. (2008, 2010) para suelos de sabana intervenida en la altillanura colombiana, aspecto que para este estudio se presenta debido a la presencia entre líneas de coberturas verdes como el kudzu-tropical (*Pueraria phaseoloides Benth*) el cual aporta altos contenidos de materia orgánica al suelo (Pessôa da Cruz et al., 2005). Así al ser el caucho un árbol caducifolio, como resultado de la caída de sus hojas, ramas y semillas, incrementa la cantidad de materia orgánica en el suelo (Medrado et al., 1991), al igual que los nutrientes especialmente el K, por lo que para este trabajo el K también presenta valores superiores a los reportados por Rubiano (2005); Jaimes et al., (2003); Camacho-Tamayo et al. (2008) para suelos de sabana intervenida en la altillanura Colombiana.

Tabla 4-1: Estadística descriptiva de las propiedades químicas de dos suelos cultivados con caucho, clon RRIM 600 y FX 3864.

Variable	RRIM 600				FX 3864			
	Media	CV%	Mínimo	Máximo	Media	CV%	Mínimo	Máximo
MO (%)	2,74	12,30	1,92	3,72	2,76	13,68	1,51	3,61
pH	4,79**	2,06	4,53	5,04	4,70**	2,96	4,30	5,01
N (mg kg ⁻¹)	39,71	12,29	27,83	53,99	40,06	13,67	21,96	52,32
P (mg kg ⁻¹)	3,97	51,11	2,01	15,98	4,02	40,00	2,00	12,98
K (mg kg ⁻¹)	27,83**	26,71	13,76	51,29	20,82**	24,37	11,26	30,02
Ca (mg kg ⁻¹)	81,40	38,96	40,02	163,81	77,24	30,89	43,77	167,57
Mg (mg kg ⁻¹)	15,06	23,65	8,74	23,73	14,39	17,05	11,24	27,48
Al (mg kg ⁻¹)	185,72	24,69	13,83	286,20	194,35	17,09	123,17	277,81
Na (mg kg ⁻¹)	15,43	25,61	10,00	32,50	16,30	12,03	12,50	22,50
CICE cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	2,04	15,00	0,61	2,53	2,07	11,43	1,54	2,70

**Diferencia altamente significativa ($P < 0,01$)

Para elementos como el Mg y el K en el suelo se evidencia que presentan desbalance en los dos clones. El Instituto Colombiano Agropecuario (1992) menciona que una adecuada relación en el suelo (Mg/K), alrededor de 4:1, favorece la absorción de estos elementos por parte de las plantas, por lo que para este caso, estos niveles se consideran inapropiados, ya que los niveles de K en el suelo son superiores a los de Mg y se invierte esta relación, aspecto que podría causar deficiencias de Mg, de no ser corregidos.

En lo relacionado al tejido foliar, la base de datos global, muestra que para el clon RRIM 600, el N presenta un bajo contenido en las hojas, lo anterior basado en lo expresado por Guha (1969) quien menciona que el contenido adecuado de N en las hojas de caucho en base a materia seca se sitúa entre 3,20 y 3,70%, valores que son superiores a los encontrados para este estudio. El P muestra valores altos (0.48 %) si se tiene en cuenta

que estos se deben situar entre 0,19 y 0,27%. El K muestra valores adecuados ya que este se debe situar entre 1,0 y 1,5%.

Para el clon FX 3864 se observa que los valores medios encontrados para los elementos son deficientes para el caso del N y el K, cuyos valores medios obtenidos fueron 2,85 y 0,67 % respectivamente, (Tabla 4-2) mientras que el P presentó rangos adecuados con valores medios de 0,27 %.

Tabla 4-2: Estadística descriptiva de las propiedades químicas foliares de la plantación cultivada con caucho, clon FX 3864 y RRIM 600 en la altillanura colombiana.

Variable	Media	CV%	Mínimo	Máximo	Media	CV%	Mínimo	Máximo
	RRIM 600				FX 3864			
Pro. (kg ha ⁻¹)	2234,10**	32,35	392,00	4330,30	1802,80**	30,35	392,00	3492,70
N (%)	2,72**	8,80	2,14	3,39	2,85**	12,05	2,15	3,86
P (%)	0,48**	21,49	0,26	0,73	0,27**	20,67	0,18	0,44
K (%)	0,91**	34,04	0,26	1,86	0,67**	32,92	0,12	1,40
Ca (%)	1,10**	30,46	0,43	2,40	0,68**	29,96	0,34	1,37
Mg (%)	0,19**	41,40	0,04	0,39	0,23**	41,82	0,06	0,62
Na (%)	0,02*	29,58	0,01	0,03	0,02*	49,91	0,01	0,09
S (%)	0,10	59,27	0,05	0,36	0,08	104,23	0,04	0,52
Fe (mg kg ⁻¹)	118,77**	42,68	30,68	409,54	162,94**	42,63	15,34	388,19
Cu (mg kg ⁻¹)	12,66**	33,37	9,34	40,02	8,30**	66,90	4,00	40,02
Mn (mg kg ⁻¹)	119,33**	26,26	72,70	212,11	140,23**	39,90	50,03	336,17
Zn (mg kg ⁻¹)	14,95**	30,11	9,34	32,02	12,40**	39,18	6,00	33,35
B (mg kg ⁻¹)	132,13*	23,53	74,66	219,07	121,55*	20,80	67,91	218,03

Pro: Producción. * Diferencias significativas (P<0,05). ** Diferencias altamente significativas (P<0,01)

Al comparar el análisis estadístico de las propiedades químicas foliares de los dos clones, se observa diferencia altamente significativa (P<0,001) en el contenido de los elementos, especialmente en lo relacionado con el P, K y Ca, que presentan mayores valores para el clon RRIM 600 y el N y el Mg que presentan valores más elevados en el clon FX 3864, resultados similares para el caso del N y Mg fueron reportados por Figueiredo et al., (2004), quienes evaluando la variación de características nutricionales en el caucho, encontraron que elementos como el N y el Mg a lo largo del año fueron superiores para el clon FX 2261 en comparación al clon RRIM 600.

El Anova a nivel foliar (Anexo B) indica que a excepción del S, todas las variables estudiadas incluyendo la producción, presentan diferencias altamente significativas entre los dos clones, lo que resalta la diferencia en cuanto a los requerimientos nutricionales de un clon con respecto al otro y evidencia la necesidad de manejar de forma individual cada uno, así aunque estén plantados en suelos similares y bajo las mismas condiciones climáticas existen factores no identificados que influyen de forma diferente en la absorción, transporte y metabolismo de los elementos en los dos clones, aspectos que

repercuten directamente sobre su contenido en el tejido y por ende en la producción (Guerrini, et al., 1983).

Al respecto Bataglia et al. (1998) mencionan que aunque existan determinadas fajas adecuadas de nutrientes en el suelo, esto por sí solo no garantiza la absorción por parte de la planta, pues existen factores y requerimientos diferentes que están más relacionados con la genética particular de cada clon que con la presencia del elemento en el suelo, por lo que la mera presencia del elemento no garantiza que este se encuentre presente en la planta, como se evidencia para este caso.

Análisis de componentes principales (ACP)

El análisis por componentes principales elaborado para las propiedades del suelo y foliares. (Tabla 4-3) presenta valores diferentes para ambos clones, lo que reafirma las diferencias nutricionales existentes para los dos clones.

Para el clon RRIM 600 con el conjunto de todas las variables se consideraron significativos los tres primeros ejes con valores propios mayores de 1 y que explicaron el 75,97% de la varianza acumulada, aspecto que es considerado como adecuado para este tipo de trabajos al reducir el número de componentes principales con resultados satisfactorios (Melém-Junior et al., 2008; Valladares et al., 2008; Lima et al., 2009).

Las propiedades con mayor contribución y que presentaron coeficientes mayores a 0,7 en el primer componente fueron K, Ca, Mg y Na. En el segundo componente N y en el tercero P. Todas las variables que logró identificar el ACP como asociadas a la producción de látex, fueron las variables asociadas al suelo, en las variables foliares el ACP no logró identificar una relación entre la producción y el contenido de nutrientes en el tejido por lo que se hace necesario el abordaje de los datos con otras metodologías ya que sus coeficientes son inferiores a 0,3 en todos los casos, aspecto que no coincide con lo reportado por autores como Ferreira et al. (2002) quien menciona una correlación positiva de la producción con el contenido en el tejido de N, K y P.

Tabla 4-3: Análisis de componentes principales (CP) de las variables edáficas y foliares asociadas a la producción de los clones RRIM 600 y FX 3864 en la altillanura colombiana.

Propiedad	CP1	CP2	CP3	Com.	CP1	CP2	CP3	Com.
	RRIM 600				FX 3864			
pH _s	0,664	0,580	-0,066	0,782	0,751	-0,088	0,354	0,698
N _s	0,171	-0,832	-0,166	0,749	0,702	0,381	0,352	0,761
P _s	0,157	0,007	0,953	0,933	0,471	-0,075	-0,623	0,616
K _s	0,826	-0,322	0,048	0,789	0,451	0,239	-0,480	0,490
Ca _s	0,739	0,112	-0,101	0,569	0,547	-0,664	-0,254	0,804
Mg _s	0,887	-0,223	-0,158	0,862	0,144	-0,849	0,012	0,742
Al _s	-0,629	-0,588	0,079	0,747	-0,834	-0,002	-0,335	0,808

Continuación Tabla 4-3

Na_s	0,703	-0,330	0,209	0,646	0,398	0,528	-0,367	0,572
N_f	0,020	0,000	0,011	0,001	-0,151	0,042	0,100	0,035
P_f	0,160	-0,110	0,094	0,047	-0,075	-0,151	0,097	0,038
K_f	-0,349	-0,202	-0,116	0,176	-0,227	-0,317	0,058	0,155
Ca_f	-0,215	-0,158	-0,033	0,072	-0,022	-0,068	0,124	0,020
Mg_f	-0,133	-0,227	-0,045	0,071	-0,287	-0,341	0,266	0,269
Na_f	0,344	-0,088	0,030	0,127	-0,119	-0,105	0,118	0,039
S_f	-0,068	0,168	-0,020	0,033	0,088	-0,139	0,164	0,054
Fe_f	-0,070	-0,097	0,066	0,019	-0,034	-0,004	-0,155	0,025
Cu_f	-0,312	-0,032	0,016	0,099	-0,057	-0,083	-0,105	0,021
Mn_f	-0,273	-0,042	0,023	0,077	-0,345	-0,118	-0,033	0,134
Zn_f	-0,034	-0,098	0,138	0,030	-0,354	-0,269	0,092	0,206
B_f	0,369	0,122	-0,072	0,156	-0,035	-0,080	0,195	0,046
		3,401	1,650	1,027		2,657	1,656	1,179
Auto valor								
Var. Total %	42,509	20,621	12,842		33,216	20,695	14,735	
Var. Acu.%	42,509	63,130	75,972		33,216	53,911	68,646	

CP=Componente. Com=Comunalidad. Var=Varianza.

Al realizar el círculo de correlaciones para subpoblaciones y sobreponerlo en el círculo de elementos (**Figura 4-1**) se observa que en el cuadrante inferior derecho se ubican las subpoblaciones PMA y PA y a su vez allí se ubican los elementos K, Ca, Mg y Na.

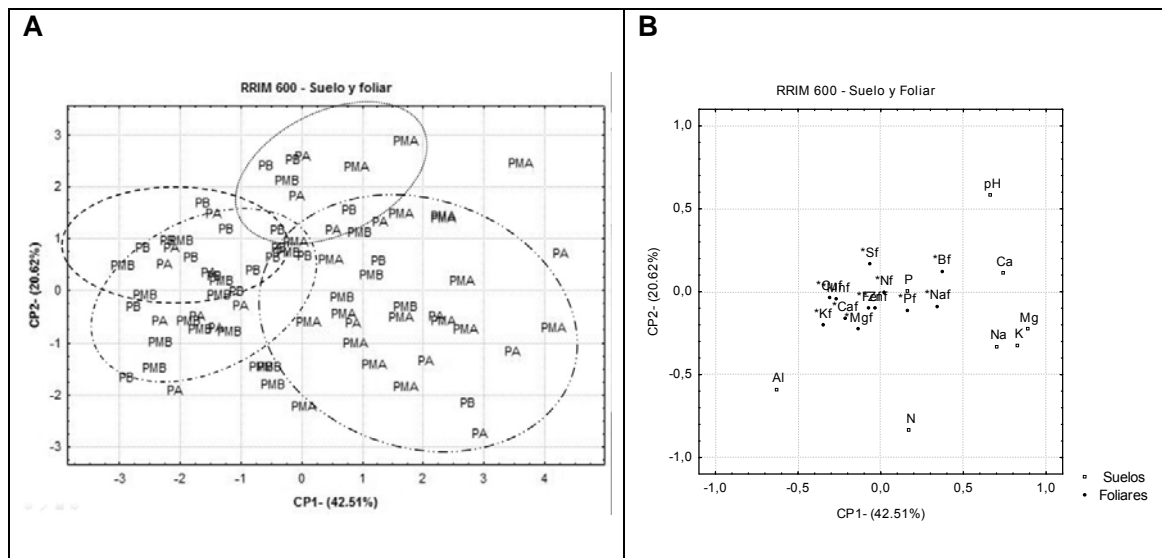
Lo anterior se puede presentar si se tiene en cuenta que el K es uno de los elementos más importantes en la producción del látex. Al respecto Virgens-Filho (1998) encontró que las producciones de látex en el clon RRIM 600 se incrementaron cuando se aplicaron dosis altas de K al suelo; sin embargo, este efecto sobre la producción aumentó cuando dichas aplicaciones se hicieron acompañadas de dosis altas de N y P que para este caso particular, expresan su relación con la producción en el segundo y tercer componente.

Los resultados para Ca son concordantes con lo reportado por Guerrini et al. (1983) quien menciona una elevada extracción de Ca en el caso particular de clones tipo RRIM, este mismo autor menciona que es posible que el Ca absorbido sea requerido no solo para el crecimiento si no para la producción de látex.

Para el caso del Mg diferentes autores como Virgens-Filho et al., 2001; Falcão (1996) y Murbach (1997) mencionan que su disponibilidad para la absorción de las plantas está basada en gran medida por la relación que tenga con el contenido de K en el suelo ya que cantidades elevadas de K inducen deficiencias de Mg en el tejido, por lo que en estas condiciones, no se espera que exista una adecuada respuesta al K aplicado debido a la deficiencia inducida de Mg, que pasa a ser el factor limitante en la producción. En el círculo de correlaciones, B) (**Figura 4-1**) se observa dicha relación donde los dos elementos están estrechamente relacionados y el contenido de K aunque es superior al

de Mg, aún no ha afectado su disponibilidad, si esto fuera así, estarían en posiciones opuestas y sin relación positiva con la producción.

Figura 4-1: Análisis de factores por componentes principales para las subpoblaciones (PA), (PMA), (PMB), (PB) y las propiedades químicas foliares y de suelos en el clon RRIM 600.

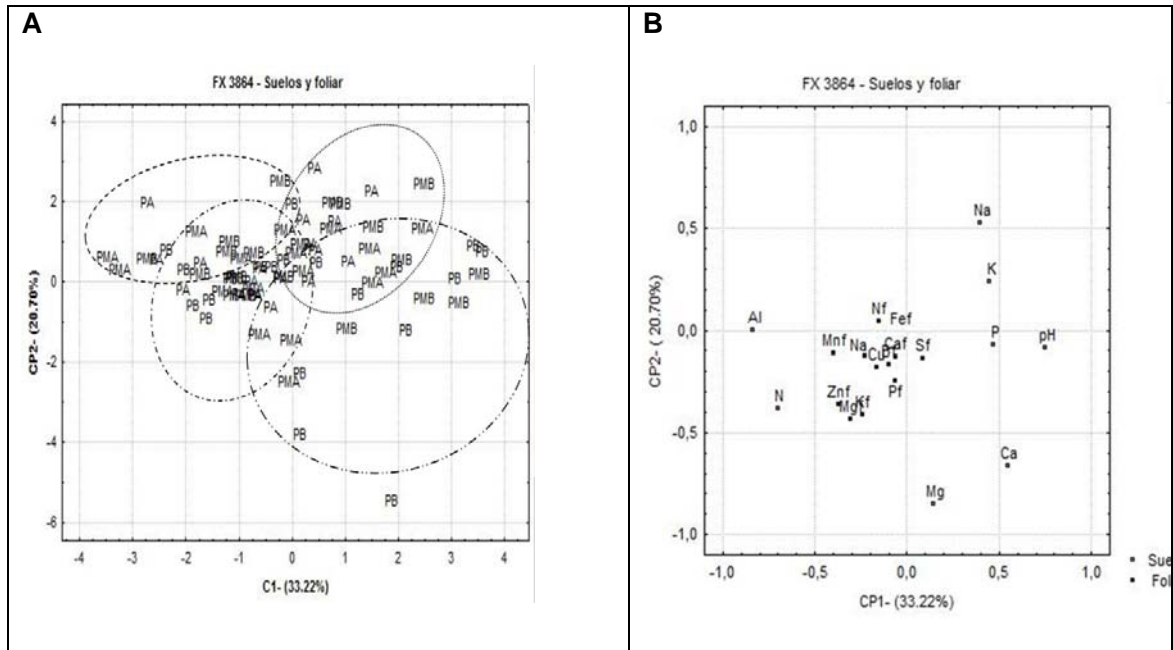


Se observa también que propiedades como el Al son independientes y no presentan relaciones estrechas con los demás elementos. Es así como el Al está en posiciones opuestas al Ca y al pH, lo que muestra la relación inversa del pH y el contenido de calcio en el suelo con respecto al contenido de Al, caso que es común y ha sido reportado por diferentes autores (Casierra & Aguilar, 2007; Echart & Cavalli-Molina, 2001; Zapata, 2004).

Para el clon FX 3864 (**Tabla 4-3**) también se consideraron los tres primeros componentes que explicaron el 68,64% de la varianza acumulada. Las propiedades con mayor contribución en este clon en el primer componente fueron pH, N y Al del suelo; en el segundo componente Mg y en el tercer componente el P. Los resultados para este clon no coinciden con lo reportado por Pereira & Pereira (1986) y Kitamura (1992), quienes en estudios realizados encontraron que valores de pH entre 4,0 y 5,0 con altos niveles de Al intercambiable, no tuvieron efectos significativos sobre la producción en cultivares de caucho en Brasil, caso contrario a lo que se evidencia para este trabajo, donde el resultado del ACP muestra que el Al participa de forma importante y con correlación negativa (-0,83) sobre la producción.

Al sobreponer el círculo de correlaciones de las subpoblaciones y el de elementos se observa que no existe un comportamiento que permita diferenciar los elementos están definiendo la producción para este clon, a pesar de que el ACP indique que el pH, N y Al presentan una alta contribución a la producción.

Figura 4-2: Análisis de factores por componentes principales para las subpoblaciones (PA), (PMA), (PMB), (PB) y las propiedades químicas foliares y de suelos en el clon FX 3864.



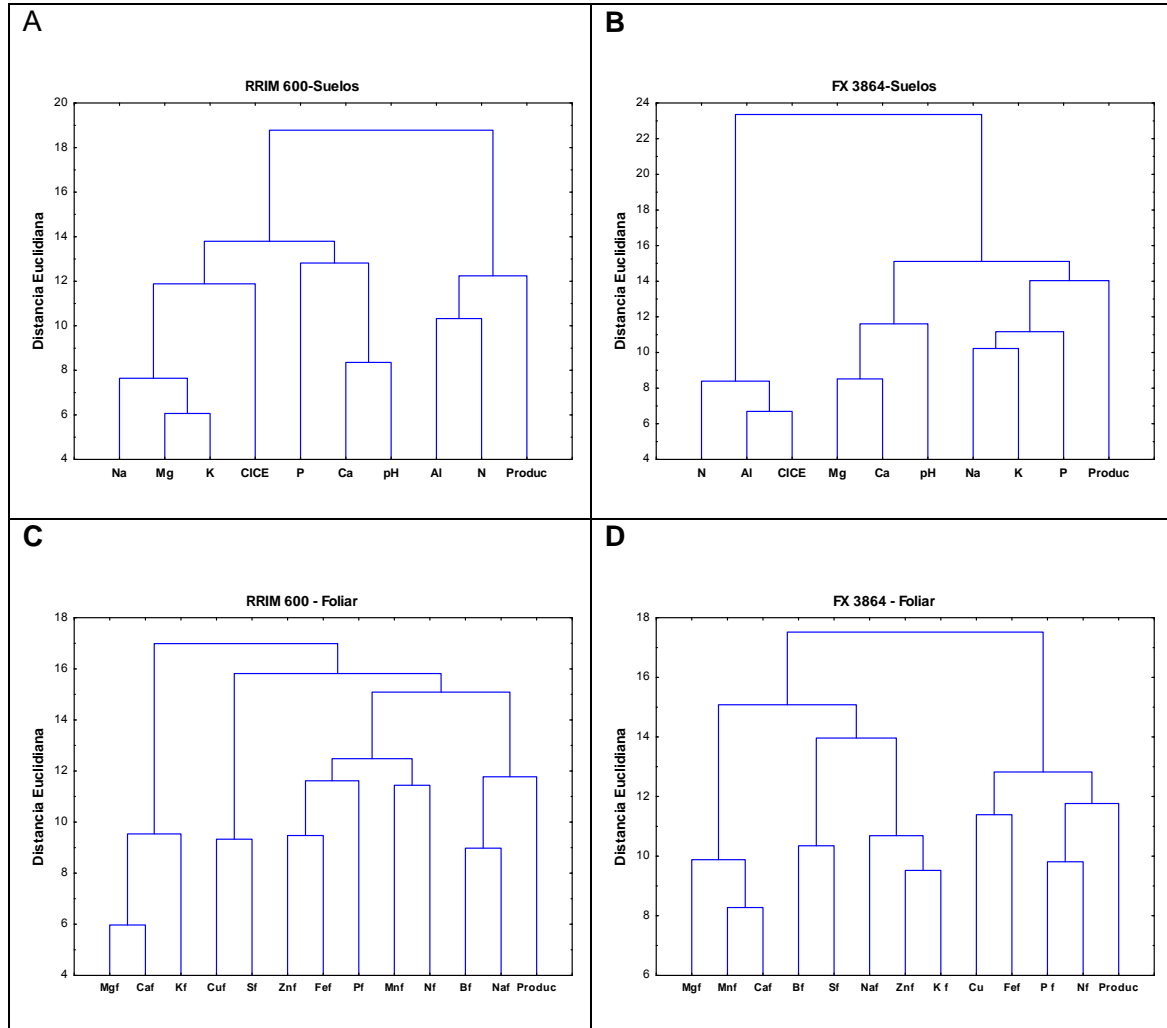
Análisis Clúster

En el análisis clúster se observa que para las propiedades químicas estudiadas en el suelo se presentan tres grupos definidos para ambos clones (**Figura 4-3 A y B**), mientras que a nivel foliar se presentan cuatro grupos para el clon RRIM 600 y tres para el clon FX 3864 (**Figura 4-3 C y D**).

En el suelo se observa que los dos clones presentan relaciones diferentes con la producción, encontrando que para el clon RRIM 600 la producción se asocia más al contenido de N y Al mientras que para el clon FX 3864 la producción está más relacionada con el contenido de K y P. En los dos clones el Ca se ubica en el mismo grupo del pH.

Para la CICE el análisis muestra que en el clon RRIM 600 ésta se encuentra influenciada en mayor grado por el Mg, mientras que para el FX 3864 está más influenciada por el Al, lo que concuerda con los mayores contenidos de Al presentes en el suelo donde esta plantado este clon.

Figura 4-3: Dendogramas resultantes del análisis clúster para los clones RRIM 600 y FX 3864 suelos y foliar para producción.



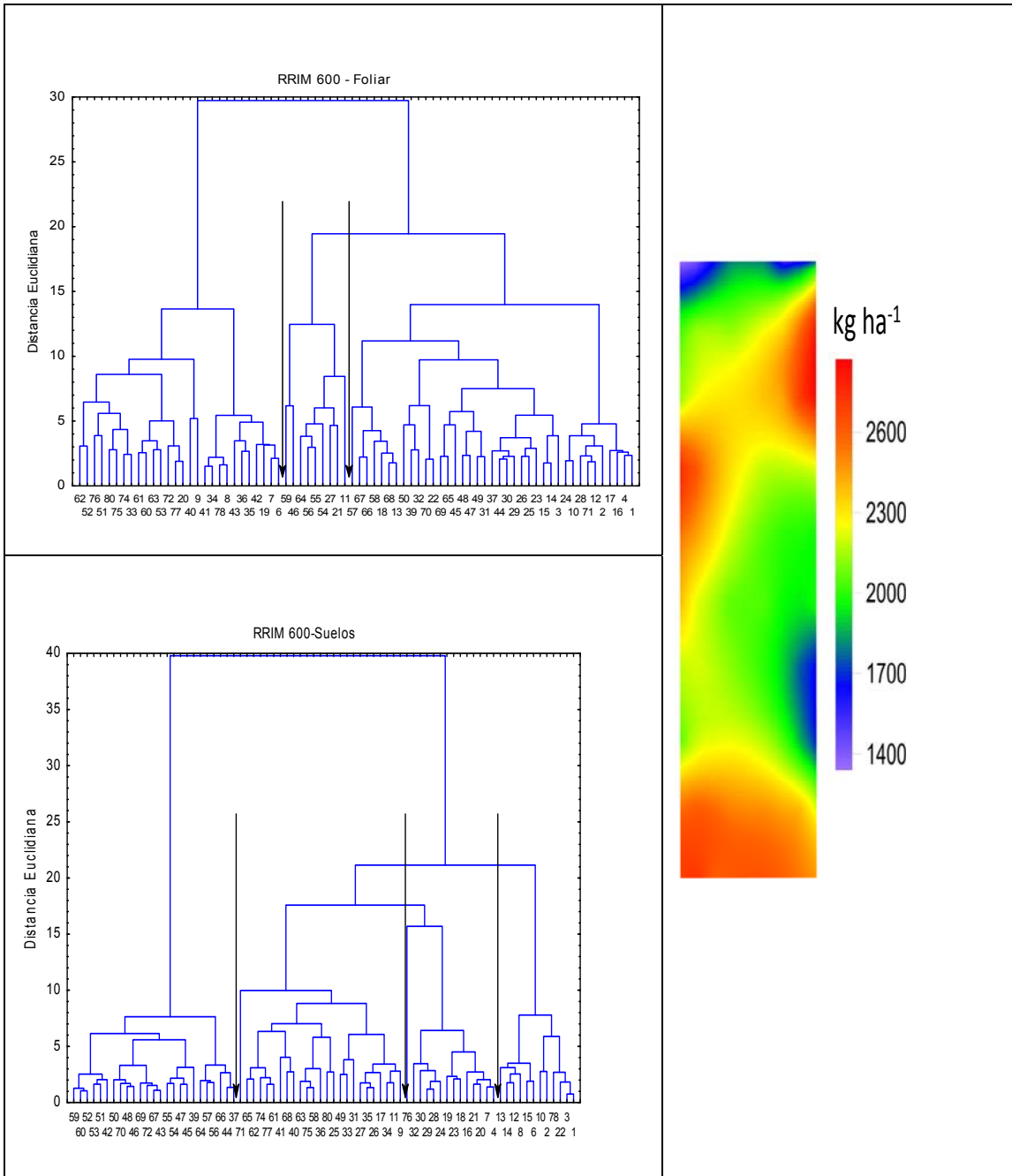
A nivel foliar, en el clon RRIM 600 se destaca la asociación que se presenta entre el contenido de B y Na con la producción, así mismo se observa la estrecha relación que existe entre el contenido de Mg y Ca con el contenido K.

Para el clon FX 3864 el P y N están directamente relacionados con la producción, destacando que el fósforo presenta esta misma relación tanto a nivel foliar como de suelos. Al respecto Jacob & Serres (1988), Jacob & Prevot (1989) y Figueiredo et al. (2004) mencionan que el fósforo está directamente asociado con la producción del caucho, ya que interviene mejorando la intensidad de las relaciones energéticas y principalmente en la utilización de isopentenilpírofosfato para procesos de polimerización de la planta.

Al realizar el análisis clúster por casos junto con el mapa de contorno para la producción, se identificó la presencia de cuatro grupos a nivel de suelos y tres a nivel foliar en el clon

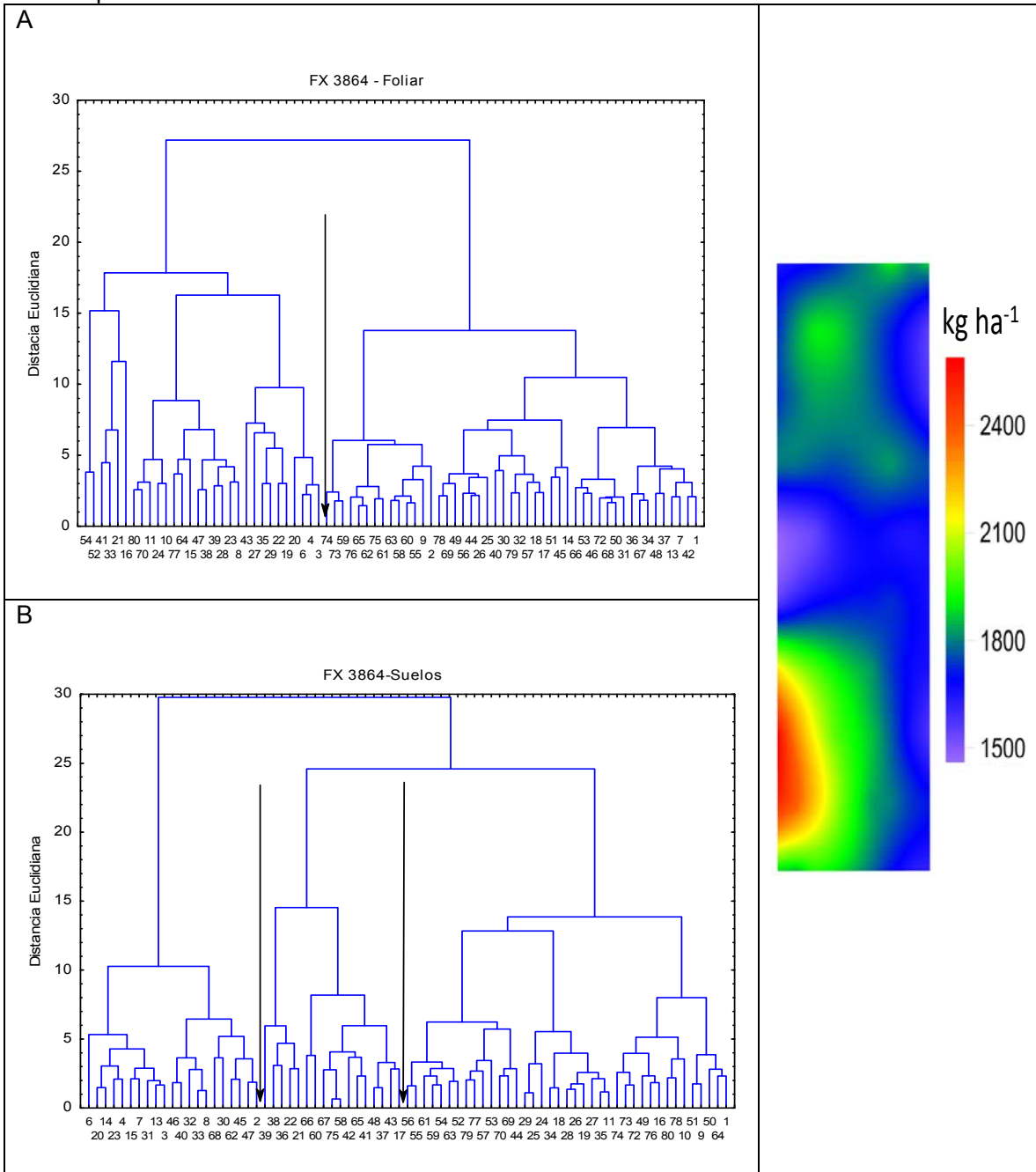
RRIM 600 (**Figura 4-4**). En cuanto a la producción se observa que presenta un grupo con producciones superiores a 2300 kg ha⁻¹ y corresponde a los casos agrupados en el centro del análisis clúster para suelos. En general este clon presenta producciones superiores a los 2000 kg ha⁻¹ en la mayor parte del lote.

Figura 4-4:- Dendogramas y mapas de contorno resultantes del análisis clúster (AC) por casos para los clones RRIM 600.



Para el clon FX 3864 se identificaron dos grupos a nivel de suelos y tres a nivel foliar (**figura 4-5**). Se observa según el mapa de contorno, que la producción de este clon presenta valores en la mayoría del área inferiores a los 1800 kg ha⁻¹, con una pequeña área con producciones entre 2100 y 2400 kg ha⁻¹, razón por la cual en el análisis clúster tanto de suelos como foliar no se identificó un grupo específico que denotara los casos con alta producción

Figura 4-5: Dendogramas y mapas de contorno resultantes del análisis clúster (AC) por casos para el clon FX 3864.



Los resultados del análisis clúster permitieron identificar las variaciones de la producción en los dos lotes estudiados, encontrando que para el caso del clon RRIM 600 los casos con producciones superiores los 2200 kg ha⁻¹ se encuentran dispersas a lo largo del lote y en mayor número que para el clon FX 3864, que concentra la mayor producción en una zona determinada y en menor cantidad de casos.

En este contexto se hace necesario el estudio independiente de los factores particulares que inducen este comportamiento, ya que como se mostró anteriormente, aunque ambos clones estén plantados en suelos químicamente similares no existe un comportamiento que sea identificado como análogo a nivel de suelos y foliar para ambos clones, por lo que estos factores serían atribuibles en mayor medida a habilidades genéticas o a factores nutricionales no identificados por la estadística multivariada que repercuten de forma directa en la producción. Según Mesquita et al. (2006), en estudios realizados con el fin de observar el comportamiento de la producción de látex con respecto a las variaciones ambientales en lo referente a temperatura, precipitación, humedad relativa entre otros, concluyó que el clon RRIM 600 se ve menos afectado por estas variaciones, razón por la cual su producción es superior a otros clones evaluados, entre ellos clones de tipo FX.

4.2 Normas DRIS foliares

Teniendo en cuenta los resultados del análisis estadístico univariado y multivariado, el cual mostró diferencias en el comportamiento de la producción total para cada clon y en el contenido de nutrientes, principalmente a nivel foliar, se hizo necesario la obtención de las normas de forma independiente para el clon RRIM 600 y el clon FX 3864, tanto a nivel foliar como de suelos, ya que de obtenerlas en forma general las normas estarían siendo representadas en mayor medida por el clon RRIM 600, esto teniendo en cuenta que las normas son derivadas de individuos (poblaciones) de alta producción y este clon mostró ser superior en producción al FX 3864, por lo que se perdería la especificidad que se busca con el DRIS y estas representarían principalmente al RRIM 600.

4.2.1 Normas DRIS para el clon RRIM 600

Del análisis total de muestras de tejido foliar, al depurar y seleccionar la base de datos, se definieron 76 muestras, con sus respectivos rendimientos. La producción de la base de datos presentó una alta variación, encontrando producciones que van desde 392 hasta 4330 kg ha⁻¹ de caucho seco, si se tiene en cuenta que la media de producción para esta zona es de 1800 kg ha⁻¹, y que el umbral mínimo que se estableció para la población de referencia fue de 2690,82 (kg ha⁻¹) de acuerdo la metodología de cuartiles utilizada, se observa que existe diferencia entre la producción de la zona y la producción de la población de referencia, mostrando que el muestreo propuesto es suficiente para el establecimiento de las normas.

La población total se subdividió en dos poblaciones, una de alto y otra de bajo rendimiento (**Tabla 4-4**). Para la población de alto rendimiento se determinó un umbral de 2690,82 kg ha⁻¹ año⁻¹ de caucho seco y la población de bajo rendimiento se determinó a

partir de valores inferiores a esta producción, encontrando que de las 76 muestras analizadas 19 de ellas se clasificaron como de alto rendimiento, mientras que 57 de ellas se clasificaron como de bajo rendimiento.

Tabla 4-4: Estadística descriptiva de las poblaciones de alta y baja producción en (*Hevea brasiliensis*) clon RRIM 600, en la altillanura Colombiana.

Variable	Población alta producción			Población baja producción		
	\bar{X} (CV %)	Mínimo	Máximo	\bar{X} (CV %)	Mínimo	Máximo
Producción (kg ha⁻¹)	3138(12,66)	2690,8	4330,3	1933(27,74)	392,0	2655,2
N (%)	2,65(7,27)	2,34	3,13	2,74(9,10)	2,14	3,39
P (%)	0,47(17,34)	0,31	0,57	0,49(22,66)	0,256	0,73
K (%)	0,88(33,49)	0,44	1,60	0,91(34,45)	0,262	1,86
Ca (%)	1,17(37,48)	0,60	2,40	1,08(27,30)	0,431	1,68
Mg (%)	0,21(46,36)	0,05	0,39	0,18(38,80)	0,039	0,32
Na (%)	0,02(29,60)	0,01	0,03	0,02(29,76)	0,006	0,03
S (%)	0,08(38,40)	0,06	0,19	0,1(62,19)	0,052	0,36
Fe (mg kg⁻¹)	127,6(56,91)	74,00	409,5	115,8(35,70)	30,68	267,47
Cu (mg kg⁻¹)	11,55(17,65)	9,34	18,01	13,02(36,01)	9,338	40,02
Mn (mg kg⁻¹)	111,92(26,02)	75,37	174,09	121,8(26,19)	72,70	212,11
Zn (mg kg⁻¹)	14,5(31,04)	9,34	23,35	15,1(30,01)	9,338	32,02
B (mg kg⁻¹)	135,52(20,46)	81,41	182,19	131(24,65)	74,66	219,07

\bar{X} = Media. CV=Coeficiente de variación en %

Esta selección cumple con las premisas señaladas por Letzsch & Sumner (1984), quienes consideran que la población de alta producción debe estar conformada al menos por el 10% de las observaciones de la base de datos global, lo que garantiza una población de alta producción con diferencias significativas respecto a la población de baja producción, esto indica que la base de datos propuesta para la obtención de las normas es adecuada.

Al comparar las dos poblaciones se observa que la población de alta producción presenta un contenido medio menor de nutrientes con relación a la de baja producción, solo el Ca y Mg muestran niveles más altos en la población de alta producción. Aunque las diferencias no son significativas si se observa una tendencia aspecto que se podría soportar en la relación fuente-vertedero (Daie, 1985; Parra, 2003), debido a que el muestreo foliar se realizó en el pico de cosecha, lo que indicaría la mayor habilidad de las plantas con producciones altas para la transformación de los nutrientes en látex, por lo que sus niveles son bajos en el tejido foliar, mientras que en la población de baja

producción las plantas están dedicando los nutrientes extraídos del suelo a actividades de sostenimiento y no a la de producción de látex, por lo que sus niveles en el tejido foliar son superiores.

Según Murbach et al. (2003) manifiestan que el K, seguido por el P, son los nutrientes con mayor tasa de retranslocación de las hojas a las partes de madera y el látex en el caucho para clon RRIM 600, seguido por N, Mg y S. En términos de cantidades trasladadas desde las hojas a otras partes de la planta, el nitrógeno es el nutriente que presenta los mayores valores. Para el Mg, aunque su cantidad es la misma que el K, su tasa de retranslocación es menor, por lo que la cantidad trasladada es más pequeña que la del K y su contenido en el tejido será mayor.

En lo relacionado al mayor contenido de P en el tejido foliar presente en la población de bajo rendimiento, Murbach et al. (2003) mencionan que las plantas de caucho presentan gran eficiencia en la absorción de P, por lo que sus contenidos en el tejido generalmente se encuentran en niveles adecuados. También Jacob et al. (1988; 1989) mencionan que el fósforo al estar involucrado en relaciones de intercambio de energía, es necesario en momentos de alta producción de látex, por lo que para este caso sus niveles tenderían a bajar en el tejido. Esto también se puede presentar por los bajos contenidos de N ya que se ha reportado que la concentración de P en los tejidos foliares es más dependiente de la cantidad de N, que de la misma cantidad de P, siendo el P un antagonista débil del N (Rodríguez, 1978), por lo que en este caso este antagonismo es menos marcado, permitiendo altos contenidos de P en el tejido foliar.

En lo relacionado con otros elementos, es notorio el alto contenido de Ca, elemento que también presenta altos niveles por su relación con el N. En suelos ácidos, Rodríguez (1978) menciona que bajos niveles de N tienen como efecto altos niveles de Ca en el tejido foliar, mostrando la importancia de esta relación en la nutrición y desarrollo del caucho. Al respecto, Roque et al. (2004) encontraron una relación positiva entre los niveles de Ca foliar y la producción del caucho. Marengo & Lopes (2007) también mencionan que el desequilibrio en relación al Ca puede estar relacionado con el antagonismo que presenta el K y el Ca donde, el exceso de uno puede generar la deficiencia del otro. Una vez seleccionadas las poblaciones de alto y bajo rendimiento se procedió a obtener todas las posibles relaciones de los elementos para las dos poblaciones (**Tabla 4-5**).

Para el caso del Ca y Mg, sus relaciones con el N, P, K se expresaron como producto, ya que generalmente el N, P y K disminuyen con la edad de la planta mientras que el Ca y Mg aumentan, razón por la cual su mejor forma de expresión no es el cociente si no su producto (Beaufils, 1973).

Tabla 4-5: Relaciones y normas seleccionadas para caucho (*Hevea brasiliensis*) clon RIMM 600, en la altillanura Colombiana

Relación	\bar{X} (CV%)	S ²	F(Sb/Sa)	Relación	\bar{X} (CV %)	S ²	F(Sb/Sa)
N/P	5,87(24,06)	2,00	0,03	100Ca/Fe	1,07(53,10)	0,33	0,96*
P/N	0,18(18,98)	0,00	1,70*	Fe/100Ca	1,25(72,63)	0,82	0,38
N/K	3,34(37,02)	1,53	1,21*	100Ca/Cu	10,26(39,19)	16,17	0,44
K/N	0,34(33,21)	0,01	1,06	Cu/100Ca	0,11(30,40)	0,00	2,44*
NXC_a	3,09(38,14)	1,38	0,48	100Ca/Mn	1,07(39,98)	0,18	0,62
CaXN	3,09(38,14)	1,38	0,48	Mn/100Ca	1,03(28,88)	0,09	2,93*
NXMg	0,54(45,97)	0,06	0,65	100Ca/Zn	8,93(56,67)	25,62	0,33
MgXN	0,54(45,97)	0,06	0,65	Zn/100Ca	0,14(40,47)	0,00	1,78*
N/Na	159,30(31,76)	2558,70	1,90*	100Ca/B	0,93(56,18)	0,27	0,30
Na/N	0,01(30,13)	0,00	0,91	B/100Ca	1,31(37,60)	0,24	1,08*
N/S	34,69(26,37)	83,65	1,59	Mg/Na	11,62(47,92)	31,02	0,33
S/N	0,03(42,13)	0,00	3,86*	Na/Mg	0,11(48,19)	0,00	0,49*
100N/Fe	2,38(30,17)	0,52	4,40*	Mg/S	2,71(57,02)	2,40	0,57
Fe/100N	0,48(55,82)	0,07	0,30	S/Mg	0,53(67,33)	0,13	8,69*
100N/Cu	23,43(15,54)	13,26	1,57	100Mg/Fe	0,18(52,02)	0,01	1,19*
Cu/100N	0,04(16,99)	0,00	7,50*	Fe/100Mg	8,19(92,48)	57,43	0,58
100N/Mn	2,51(26,08)	0,43	0,84	100Mg/CU	1,79(45,90)	0,67	0,50
Mn/100N	0,42(24,71)	0,01	1,36*	Cu/100Mg	0,73(67,13)	0,24	1,06*
100N/Zn	19,71(26,84)	27,98	0,79	100Mg/Mn	0,19(51,10)	0,01	0,57
Zn/100N	0,05(28,40)	0,00	1,02*	Mn/100Mg	6,80(54,88)	13,93	2,09*
100N/B	2,04(24,20)	0,24	1,60*	100Mg/Zn	1,54(61,57)	0,89	0,35
B/100N	0,52(22,30)	0,01	1,26	Zn/100Mg	0,90(64,43)	0,33	1,44*
P/K	0,59(42,05)	0,06	1,17*	100Mg/B	0,16(61,07)	0,01	0,50
K/P	1,95(37,15)	0,52	1,13	B/100Mg	8,65(06,92)	27,77	0,93*
PXC_a	0,54(34,86)	0,04	0,85*	Na/S	0,23(30,63)	0,01	1,57
CaXP	0,56(34,09)	0,04	0,83	S/Na	4,91(44,54)	4,78	8,16*
PXMg	0,10(45,31)	0,00	0,97	100Na/Fe	0,02(31,45)	0,00	2,64*
MgXP	0,10(45,31)	0,00	0,97	Fe/100Na	71,85(40,46)	844,86	1,84
P/Na	28,08(39,09)	120,55	1,07*	100Na/Cu	0,16(27,85)	0,00	1,48*
Na/P	0,04(29,30)	0,00	1,03	Cu/100Na	6,85(30,15)	4,26	3,81
P/S	6,09(27,35)	2,78	2,45	100Na/Mn	0,02(42,70)	0,00	0,48
S/P	0,19(50,15)	0,01	2,68*	Mn/100Na	67,00(35,74)	573,57	2,05*
100P/Fe	0,42(35,99)	0,02	1,93	100Na/Zn	0,13(30,71)	0,00	1,37
Fe/100P	2,79(50,38)	1,98	0,64	Zn/100Na	8,37(31,41)	6,91	2,96*
100P/Cu	4,12(21,44)	0,78	2,10	100Na/B	0,01(24,98)	0,00	1,24
Cu/100P	0,25(22,64)	0,00	4,61*	B/100Na	79,05(26,97)	454,40	2,07*
100P/Mn	0,44(30,07)	0,02	1,11	100S/Fe	0,07(48,25)	0,00	10,69*
Mn/100P	2,46(30,16)	0,55	1,19*	Fe/100S	16,43(54,32)	79,66	0,69

Continuación tabla 4-5...

Relación	\bar{X} (CV%)	S ²	F(Sb/Sa)	Relación	\bar{X} (CV %)	S ²	F(Sb/Sa)
Zn/100P	0,31(27,95)	0,01	1,41*	Cu/100S	1,51(31,75)	0,23	1,03
100P/B	0,36(26,93)	0,01	2,34*	100S/Mn	0,08(35,82)	0,00	4,29*
B/100P	2,99(28,06)	0,70	1,77	Mn/100S	14,55(37,15)	29,23	1,44
KXCa	1,12(68,24)	0,58	0,38	100S/Zn	0,62(47,13)	0,09	3,19*
CaXK	1,12(68,24)	0,58	0,38	Zn/100S	1,88(38,06)	0,51	1,79
KXMg	0,20(71,21)	0,02	0,57	100S/B	0,06(23,91)	0,00	12,01*
MgXK	0,20(71,21)	0,02	0,57	B/Zn	10,03(28,74)	8,30	1,35
K/Na	51,14(37,07)	359,26	1,50*	Fe/Cu	11,07(53,49)	35,07	0,39
Na/K	0,02(32,34)	0,00	1,19	Cu/Fe	0,10(25,60)	0,00	15,86*
K/S	11,58(44,69)	26,78	1,29	Fe/Mn	1,28(84,05)	1,16	0,17
S/K	0,11(52,90)	0,00	6,85*	Mn/Fe	1,04(44,39)	0,21	2,31*
100K/Fe	0,79(36,69)	0,10	2,03*	Fe/Zn	9,01(43,37)	15,27	0,49
Fe/100K	1,60(66,27)	1,12	0,37	Zn/Fe	0,13(31,95)	0,00	3,03*
100K/Cu	7,62(26,93)	4,21	1,48	Fe/B	0,97(53,56)	0,27	0,75
Cu/100K	0,14(30,04)	0,00	2,35*	B/Fe	1,21(33,44)	0,16	4,30*
100K/Mn	0,82(35,29)	0,08	1,55	Cu/Mn	0,11(24,59)	0,00	2,61*
Mn/100K	1,37(34,44)	0,22	2,53*	Mn/Cu	9,87(29,74)	8,61	1,19
100K/Zn	6,40(36,74)	5,52	1,19	Cu/Zn	0,84(20,31)	0,03	5,34*
Zn/100K	0,18(33,43)	0,00	2,77*	Zn/Cu	1,24(21,69)	0,07	2,45
100K/B	0,69(53,87)	0,14	1,23	Cu/B	0,09(38,38)	0,00	1,66*
B/100K	1,71(35,55)	0,37	1,23	B/Cu	12,01(22,37)	7,22	1,58
Ca/Mg	6,43(38,24)	6,05	0,59	Mn/Zn	8,35(37,96)	10,05	0,67*
Mg/Ca	0,17(29,48)	0,00	0,80*	Zn/Mn	0,14(39,33)	0,00	0,55
Ca/Na	69,17(44,85)	962,54	0,28	Mn/B	0,87(39,04)	0,12	1,19*
Na/Ca	0,02(38,20)	0,00	0,63*	B/Mn	1,29(33,16)	0,18	0,79
Ca/S	15,45(49,90)	59,46	0,50	Zn/B	0,11(40,89)	0,00	1,41*
S/Ca	0,08(41,25)	0,00	7,69*	B/Zn	10,03(28,74)	8,30	1,35

CV coeficiente de variación. F (Sa/Sb) relación entre varianzas de las poblaciones de alto y baja producción respectivamente. Los elementos N, P, K, Ca, Mg y S en porcentaje, los demás en mg kg⁻¹. *Norma seleccionada.

De las 132 relaciones posibles se seleccionaron 66, según el criterio de mayor relación entre varianzas (prueba F), donde se observa que algunas relaciones presentan coeficientes de variación elevados, especialmente en las que interviene el Fe, motivo que según Flores et al. (2004), para las normas no envuelven problemas de interpretación puesto que, en esta situación, dichos valores representan la variación real existente en los contenidos de los nutrientes en las poblaciones de caucho de rendimientos medios, aunque al momento del cálculo de los índices DRIS estas relaciones perderán peso.

Los cocientes o productos seleccionados como norma, indican el adecuado balance nutricional del árbol de caucho para la zona de estudio, lo anterior en razón a que un elemento en determinado momento y bajo ciertas condiciones estará influenciado por diversos factores, encontrado dentro de estos factores su relación con los demás elementos presentes en el tejido de la planta. En este sentido su absorción, transporte y dinámica puede ser influenciada de forma positiva, negativa o nula por la presencia de otro elemento en función de la relación que se establezca (Malavolta et al., 1997). Así, las normas seleccionadas a partir de poblaciones de alto rendimiento para este trabajo, indican las condiciones ideales en forma teórica de la concentración de nutrientes y su relación con los demás, para lograr poblaciones de alta producción en la altillanura colombiana.

Cuando se comparan los resultados obtenidos con otros trabajos, se observa que los valores medios encontrados en los elementos y en las relaciones de la población de referencia para el desarrollo de estas normas, son inferiores a lo reportado por autores como Flores et al. (2004) en Venezuela para cultivos de caucho, a excepción del P, K, y Ca. Es de resaltar también que mientras que en dicho trabajo la producción media en la población de alto rendimiento fue 2070 kg ha⁻¹ en este trabajo la producción media en la población de alto rendimiento fue de 3138 kg ha⁻¹. Si se tiene en cuenta que la producción no solo responde al contenido individual de un nutriente si no a un balance general del sistema planta (Mashner, 2002), la mayor producción que se presentó para este trabajo aun cuando el contenido medio de nutrientes es menor se podría deber en gran medida a una mejor relación o proporción de los nutrientes dentro del sistema productivo con respecto al trabajo realizado por Flores et al. (2004).

Una vez establecidas las poblaciones y seleccionadas las normas, se realizó un análisis preliminar de la incidencia de cada uno de los elementos y sus relaciones sobre la producción, buscando correlacionar las normas seleccionadas para el caso de la población de alto rendimiento, mediante un análisis de correlaciones (**Tabla 4-6**), encontrando que las relaciones que más influyeron en la producción fueron las que relacionan al N, P, K y Mg con elementos como el Ca, S, Fe y B.

Tabla 4-6: Valor correlaciones de Pearson significativas ($p < 0,05$) en la población de alto rendimiento, para caucho clon RRIM 600.

Relación	Correlación
NXCa	0,45
NXMg	0,47
PXCa	0,49
PXMg	0,51
K/N	0,46
KXCa	0,51
KXMg	0,54
K/Na	0,48
k/S	0,44
100K/Fe	0,47
100K/B	0,46
Mg/Na	0,47
100Mg/Fe	0,44
Zn/B	0,46

Las relaciones que presentaron una mayor correlación con la producción, fueron P x Mg, K x Ca y K x Mg, lo cual según Casierra et al. (2004), muestra la alta interacción que se presenta entre estos elementos y su relación de forma positiva con la producción.

Relaciones en donde interviene el K presentan una correlación positiva. Esto se puede explicar si se tiene en cuenta que el K juega un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo del caucho, entre las cuales se destaca el aumento de los vasos conductores y por tanto el incremento del volumen de tejidos encargados de la producción de látex, lo que repercute de forma positiva en la producción (Bataglia et al., 1999).

La relación entre K y N presenta una correlación significativa y positiva, que sugiere un adecuado balance entre estos nutrientes, influyendo de forma positiva en la producción, ya que desbalances entre estos dos elementos presentan bajas en el rendimiento, especialmente en clones de alta producción, como lo es el caso del RRIM 600. Según Bataglia et al. (1999) los nutrientes N, P y K en la planta de caucho presentan una total interdependencia por lo que sus relaciones tanto en el suelo como en el tejido son de vital importancia para el crecimiento, desarrollo y producción de la planta de caucho.

Según Reis & Monnera (2003) y Franco (2007), al presentarse una varianza muy baja en una norma de la población de alto rendimiento, con valores de F mayores a 2 y coeficientes de variación menores del 25%, se puede presumir que el cultivo es susceptible a pequeños cambios en ese balance.

Al poner en práctica este concepto, las relaciones Cu/100N, Cu/100P, Cu/Mn, Cu/Fe, Cu/Zn y 100S/B cumplen con estas condiciones, por lo que pequeñas modificaciones en el contenido de Cu y S pueden repercutir de alguna forma en la producción del caucho y generar desequilibrios nutricionales con otros elementos. Esta situación se presentó en este estudio por las altas cantidades de S y Cu, que se verifican con los valores de los índices DRIS obtenidos para estos elementos (**Tabla 4-7**).

Tabla 4-7: Índices de interpretación, para caucho (*Hevea brasiliensis*) clon RRIM 600, en la altillanura Colombiana, con una población de bajo rendimiento.

Nutriente	Índices
N	-0,61
P	-0,53
K	-3,7
Ca	-2,05
Mg	-1,7
Na	-2,54
S	6,89
Fe	4,21
Cu	4,5
Mn	2,26
Zn	1,17
B	-2,64
IBN	32,8
IBNm	2,73

Con las normas obtenidas se realizó el cálculo de los índices DRIS (**Tabla 4-7**), con el fin de identificar la posible incidencia positiva o negativa por deficiencias, excesos o desbalances de cada uno de los elementos. Para el cálculo de los índices DRIS se tomó como muestra la media de la población de bajo rendimiento, por considerarse que esta presenta las condiciones anteriormente mencionadas.

De acuerdo con la metodología reportada por Beaufile (1973), Sumner (2000) y Mourão-Filho (2004) para los índices de balance nutricional, los resultados muestran que los elementos con mayor deficiencia son el K, Ca, Mg, y B, debido a que sus índices se encuentran con signo negativo y distantes de cero, valor que se considera como el equilibrio o el balance nutricional óptimo. Por otra parte, los elementos S, Fe y Cu presentaron excesos, con índices superiores a cero.

El orden en los nutrientes luego de calcular los índices fue:

K>B>Na>Ca>Mg>N>P>Zn>Mn>Fe>Cu>S

Aunque el Ca en la población de baja producción presentó niveles similares respecto a la población de alta producción, al realizar los índices se observaron deficiencias (-2,05), situación que se puede interpretar como un desbalance con otros nutrientes dentro del tejido de la planta y no como una deficiencia (Ruíz & Cajuste, 2002).

Al relacionar los índices de cada elemento con el IBNm, se observa que los elementos con mayor probabilidad de respuesta a su adición o reducción en su aplicación son el K, S, Fe y Ca.

4.2.2 Normas DRIS para el clon FX 3864

Luego de eliminar de la base de datos las muestras que no contaban con información completa de producción (**Tabla 4-4**), esta quedó conformada por 77 muestras, las cuales presentan una distribución normal. La producción presentó una media de 1802,8 kg ha⁻¹, con un mínimo de 392 y un máximo de 3492,7 kg ha⁻¹, con lo que se asegura que la base de datos quedó bien conformada, ya que con esta variación en la producción se representa adecuadamente la variación de la zona de estudio, siendo esto determinante en el desarrollo de normas DRIS (Mourão-Filho, 2004).

Al seleccionar las poblaciones se encontró que 19 de las 77 se ubicaron en el cuartil superior de los valores de producción, teniendo como umbral mínimo de producción 2138,4 kg ha⁻¹ y se consideraron como la población de alta producción o de referencia, mientras que 58 de las 77 se ubicaron por debajo de este umbral y se consideraron como población de baja producción. Esta selección cumple con las premisas señaladas por Letsch & Sumner (1984), Mourão-Filho et al. (2002), Reis & Monnera (2003), quienes consideran que la población de alta producción debe estar conformada al menos por el 10% de las observaciones de la base de datos global (**Tabla 4-8**).

Las concentraciones medias de los nutrientes en las hojas del caucho, muestran que en la población de alta producción dicho contenido es mayor para nutrientes como el N, K, Ca, Mg entre otros, mientras que para el fósforo es igual, el B y el S presentan valores más altos para la población de baja producción. Esto se puede explicar si se tiene en cuenta que el análisis de tejido se tomó en el mayor pico de producción, aspecto que

podría estar influyendo con la menor demanda de estos elementos en el proceso de formación de látex, en comparación con elementos como el N, Ca y Mg.

Las concentraciones de los nutrientes en general para la población de alto rendimiento son menores en comparación con lo reportado por Flores et al. (2004) para Venezuela, en un trabajo realizado en los clones IAN 873, IAN 710 y FX 3864, a excepción del Ca, pero son concordantes con los niveles reportados por Bataglia et al. (1988) para caucho en Brasil con producciones superiores a 1500 kg ha⁻¹, donde se reporta niveles de N y P bajos pero altos niveles de Mg teniendo como base lo reportado por Pushparajah & Tan (1972), como adecuado para el desarrollo de caucho en Malasia. Así mismo hay que tener en cuenta que de acuerdo al tipo de material y su genética estos contenidos varían en mayor o menor grado (Pushparajah & Chew, 1979) y aunque estos son una referencia es posible que se presenten cambios para algunos nutrientes en sus niveles, de acuerdo a las condiciones de cada zona (Bataglia & Santos, 1998).

Tabla 4-8: Estadística descriptiva de la población de alta y baja producción tenidas en cuenta para la obtención de la norma DRIS en el cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) clon FX 3864, en la altillanura Colombiana

Nutriente	Población alta producción			Población baja producción		
	\bar{X} (CV %)	Mínimo	Máximo	\bar{X} (CV %)	Mínimo	Máximo
Producción (kg ha⁻¹)	2550,1(14,27)	2138,4	3492,7	1558(21,31)	392	2084,9
N (%)	2,97(12,36)	2,36	3,64	2,81(11,68)	2,15	3,85
P (%)	0,27(16,62)	0,19	0,36	0,27(21,95)	0,17	0,43
K (%)	0,67(23,4)	0,43	1,01	0,66(35,69)	0,12	1,41
Ca (%)	0,71(26,83)	0,42	1,14	0,66(31,06)	0,33	1,37
Mg (%)	0,25(47,27)	0,10	0,62	0,21(38,74)	0,06	0,48
Na (%)	0,01(21,94)	0,01	0,02	0,02(55,66)	0,00	0,09
S (%)	0,06(18,85)	0,03	0,078	0,08(111,84)	0,03	0,51
Fe (mg kg⁻¹)	166,2(54,45)	30,7	388,2	161,87(38,3)	15,34	380,86
Cu (mg kg⁻¹)	9,34(81,86)	4,00	40,02	7,95(59,16)	4,00	40,02
Mn (mg kg⁻¹)	153,00(50,29)	50,00	295,5	136,04(34,72)	67,37	336,17
Zn (mg kg⁻¹)	13,38(44,93)	6,67	33,35	12,08(36,69)	6,00	25,34
B (mg kg⁻¹)	118,54(20,89)	67,91	173,35	122,54(20,88)	70,50	218,03

Una vez establecidas las poblaciones de alta y baja producción se procedió a la obtención de las respectivas normas en forma de cociente o producto según fuese el caso (**Tabla 4-9**), encontrando que los valores para los coeficientes de variación son altos para las relaciones donde interviene el Fe, Cu y S.

Esto se debe a los valores altos de coeficientes de variación que se presentan en la base de datos global, aspecto que se presenta generalmente en la obtención de normas DRIS, como es reportado por diferentes autores (Alves & Guedes, 2006; Ribeiro & Roque, 2007; Franco, 2007). Al respecto Flores et al. (2004) mencionan que esta situación no

encierra problemas de interpretación para la norma, ya que dichos valores representan la variación real existente en los contenidos de los nutrientes en las poblaciones de caucho de rendimientos promedios, sin embargo le quitaran peso a dicha norma en el diagnóstico al momento de obtener los índices DRIS.

Las normas obtenidas para las relaciones y productos de los elementos fueron seleccionadas de acuerdo al criterio de mayor relación entre varianzas entre la población de baja y alta producción, de las 132 relaciones posibles se seleccionaron 66, destacándose relaciones como P/N, N/K, NXCa. Al comparar los valores obtenidos en este trabajo, con los obtenidos en trabajos como el realizado en caucho por Flores et al. (2004) se evidencian diferencias, como en el caso de la relación P/N cuyo valor para este caso es mayor, encontrando que para ese trabajo dicha relación tuvo un valor de 0,07 mientras que para este tuvo un valor de 0,09 evidenciando cantidades mayores de P para la población de alto rendimiento en este caso. Sobre la importancia del P en la producción de látex, Bataglia et al. (1999) afirman que el desarrollo de arboles de caucho en suelos de alta fertilidad pero con bajos niveles de P en el suelo y las hojas, afecta negativamente la producción.

En el caso de las relaciones N/K y NXCa Flores et al. (2004) obtuvieron valores de 6,67 y 1,07 mientras que para este trabajo dichos valores fueron de 4,69 y 2,14 respectivamente. Con estos valores se corrobora que las normas pueden variar significativamente de un lugar a otro. En este sentido Bolton (1964) reportó que las normas obtenidas para caucho en los nutrientes N, P y K en Vietnam eran inadecuadas para su aplicación en plantaciones de Malasia, por que no presentaban un equilibrio que permitiera tener unas altas producciones.

Las relaciones en las que interviene el K, como numerador y cociente presentan valores más altos y más bajos respectivamente, que lo reportado por Flores et al. (2004), esto debido a los niveles más altos de K que se presentan en el tejido para este trabajo, aspecto que puede estar repercutiendo en la producción. Sobre la importancia del K para la producción del caucho autores como Falcão (1996), Murbach (1997), Murbach et al. (1999) y Murbach et al., (2003), mencionan la importancia del K en el crecimiento y producción del caucho.

Tabla 4-9: Relaciones y normas seleccionadas para caucho (*Hevea brasiliensis*) clon FX 3864, en la altillanura Colombiana.

Relación	\bar{X} (CV%)	S ²	F(Sb/Sa)	Relación	\bar{X} (CV %)	S ²	F(Sb/Sa)
N/P	11,19(15,38)	2,962	1,41	100Ca/Fe	0,59(73,26)	0,186	1,24*
P/N	0,09(15,1)	1,9x10 ⁻⁴	2,13*	Fe/100Ca	2,47(63,29)	2,461	0,47
N/K	4,69(27,51)	1,669	5,51*	100Ca/Cu	9,21(27,33)	6,337	3,74*
K/N	0,23(30,32)	0,004	1,61	Cu/100Ca	0,13(98,47)	0,018	0,51
NXCa	2,13(27,64)	0,349	0,84*	100Ca/Mn	0,53(32,98)	0,031	1,04*
CaXN	2,13(27,64)	0,349	0,84	Mn/100Ca	2,10(42,58)	0,801	0,56
NXMg	0,76(51,24)	0,153	0,38*	100Ca/Zn	6,02(40,4)	5,931	1,18
MgXN	0,76(51,24)	0,153	0,38	Zn/100Ca	0,19(41,94)	0,006	1,49*
N/Na	161,8(28,72)	2157,9	2,58	100Ca/B	0,62(27,03)	0,028	1,16
Na/N	0,006(25,58)	2,87x10 ⁻⁶	6,13*	B/100Ca	1,72(26,63)	0,21	2,19*
N/S	48,49(29,74)	208,03	0,91	Mg/Na	13,57(57,83)	61,53	0,2

Continuación Tabla 4-9...

S/N	0,02(23,87)	$2,76 \times 10^{-5}$	48,19*	Na/Mg	0,08(34,79)	$9,2 \times 10^{-4}$	2,89*
100N/Fe	2,5(86,08)	4,631	0,73*	Mg/S	4,11(50,4)	4,292	0,57
Fe/100N	0,56(54,16)	0,093	0,59	S/Mg	0,29(42,61)	0,016	7,34*
100N/Cu	39,47(33,39)	173,773	0,84*	100Mg/Fe	0,26(167,68)	0,194	0,14
Cu/100N	0,03(81,3)	$6,65 \times 10^{-4}$	0,38	Fe/100Mg	7,85(61,05)	22,97	1,14*
100N/Mn	2,41(43,86)	1,12	0,50*	100Mg/CU	3,31(51,12)	2,871	0,81*
Mn/100N	0,52(56,68)	0,089	0,47	Cu/100Mg	0,44(104,29)	0,212	0,39
100N/Zn	25,4(35,09)	79,44	1,17*	100Mg/Mn	0,19(52,65)	0,01	0,42
Zn/100N	0,04(49,7)	$5,25 \times 10^{-4}$	0,47	Mn/100Mg	6,61(49,13)	10,559	1,02*
100N/B	2,65(31,7)	0,707	0,48*	100Mg/Zn	2,12(59,55)	1,603	0,43
B/100N	0,40(26,36)	0,012	0,96	Zn/100Mg	0,60(46,65)	0,077	1,32*
P/K	0,42(26,09)	0,012	4,77*	100Mg/B	0,22(47,48)	0,011	0,52
K/P	2,54(29,45)	0,561	1,51	B/100Mg	5,44(41,6)	5,137	2,52*
PXCa	0,19(26,03)	0,002	2,30*	Na/S	0,31(36,89)	0,013	3,77
CaXP	0,19(26,03)	0,002	2,3	S/Na	3,51(31,65)	1,235	13,71*
PXMg	0,06(47,82)	0,001	0,99*	100Na/Fe	0,01(65,84)	$1,04 \times 10^{-4}$	3,41*
MgXP	0,06(47,82)	0,001	0,99	Fe/100Na	87,8(53,35)	2192,9	1,01
P/Na	14,64(28,71)	17,671	2,88	100Na/Cu	0,25(42,35)	0,012	4,43*
Na/P	0,07(27,56)	$4,12 \times 10^{-4}$	6,60*	Cu/100Na	4,95(74,46)	13,636	0,67
P/S	4,38(29,92)	1,72	1,1	100Na/Mn	0,01(49,93)	$5,89 \times 10^{-5}$	3,74*
S/P	0,24(25,35)	0,003	39,06*	Mn/100Na	79,38(44,52)	1249,021	1,23
100P/Fe	0,22(77,82)	0,03	0,67*	100Na/Zn	0,16(34,66)	0,003	3,19*
Fe/100P	6,40(62,67)	16,129	0,4	Zn/100Na	6,93(33,2)	5,3	1,88
100P/Cu	3,59(37,34)	1,801	0,87*	100Na/B	0,01(33,65)	$3,3 \times 10^{-5}$	3,28*
Cu/100P	0,34(76,11)	0,07	0,63	B/100Na	63,96(30,5)	380,55	3,08
100P/Mn	3,59(37,34)	1,801	0	100S/Fe	0,05(81,14)	0,001	6,65*
Mn/100P	5,79(54,78)	10,073	0,48*	Fe/100S	28,22(72,52)	418,951	0,33
100P/Zn	2,27(34,68)	0,623	1,20*	100S/Cu	0,83(34,19)	0,081	17,15*
Zn/100P	0,50(44,09)	0,049	0,55	Cu/100S	1,43(69,6)	1,002	0,001
100P/B	0,24(35,46)	0,007	0,48	100S/Mn	0,05(53,69)	$8,06 \times 10^{-4}$	9,76*
B/100P	4,56(32,16)	2,155	0,61*	Mn/100S	24,83(54,59)	183,68	0,49
KXCa	0,49(38,34)	0,035	1,03*	100S/Zn	0,54(39,38)	0,046	29,44*
CaXK	0,49(38,34)	0,035	1,03	Zn/100S	2,14(44,17)	0,901	1,02
KXMg	0,17(51,44)	0,008	1,08*	100S/B	0,05(20,14)	$1,2 \times 10^{-4}$	31,83*
MgXK	0,17(51,44)	0,008	1,08	B/100S	18,9(28,95)	29,95	1,17
K/Na	35,62(25,24)	80,801	2,44	Fe/Cu	21,81(73,03)	253,62	0,66
Na/K	0,02(26,77)	$6,4 \times 10^{-5}$	12,63*	Cu/Fe	0,06(79,06)	0,003	1,76*
K/S	10,75(29,98)	10,399	2,12	Fe/Mn	1,42(68,67)	0,952	0,34
S/K	0,09(26,06)	$6,7 \times 10^{-4}$	43,00*	Mn/Fe	0,01(90,77)	1,4	0,98*
100K/Fe	0,55(77,31)	0,184	2,82*	Fe/Zn	14,48(77,15)	124,87	0,56

Continuación Tabla 4-9...

Fe/100K	2,61(58,35)	2,335	1,6	Zn/Fe	0,10(74,69)	0,006	1,18*
100K/Cu	8,80(36,23)	10,176	1,66*	Fe/B	1,43(54,03)	0,605	0,6
Cu/100K	0,14(88,89)	0,016	1,17	B/Fe	0,97(81,92)	0,641	1,03*
100K/Mn	0,52(41,44)	0,047	1,06	Cu/Mn	0,078(123,42)	0,009	0,31
Mn/100K	2,29(44,99)	1,067	3,33*	Mn/Cu	19,46(49,2)	91,701	1,25*
100K/Zn	5,48(29,7)	2,652	2,02	Cu/Zn	0,89(140,06)	1,57	0
Zn/100K	0,20(35,12)	0,004	6,23*	Zn/Cu	1,78(47,33)	0,71	0,81*
100K/B	0,58(24,73)	0,02	2,4	Cu/B	0,07(74,78)	0,003	0,86
B/100K	1,82(25,07)	0,21	9,28*	B/Cu	15,48(37,28)	33,31	1,11*
Ca/Mg	3,21(34,64)	1,241	1,62*	Mn/Zn	12,07(48,77)	34,621	0,73*
Mg/Ca	0,36(57,95)	0,045	0,29	Zn/Mn	0,10(44,74)	0,002	0,68
Ca/Na	38,31(30,12)	133,16	1,96	Mn/B	1,33(54,98)	0,539	0,35
Na/Ca	0,02(29,22)	6,8x10 ⁻⁵	8,21*	B/Mn	0,94(44,73)	0,179	0,73*
Ca/S	11,46(29,28)	11,265	1,41	Zn/B	0,11(40,33)	0,002	0,75
S/Ca	0,09(28,31)	7,1x10 ⁻⁴	39,19*	B/Zn	9,90(35,93)	12,678	1,35*

CV = coeficiente de variación. F (Sa/Sb) = relación entre varianzas de las poblaciones de alto y baja producción respectivamente. Los elementos N, P, K, Ca, Mg y S en porcentaje, los demás en mg kg⁻¹.

*Norma seleccionada.

Una vez establecidas las normas DRIS se realizó el diagnóstico nutricional mediante el cálculo de los índices DRIS para cada nutriente (**Tabla 4-10**) y se estableció el balance nutricional agrupando los elementos del más al menos limitante, utilizando como muestras los promedios de la base de datos conformada por la población de bajo rendimiento (Sánchez et al., 2009), mediante la metodología propuesta por Beauflis (1973).

Tabla 4-10: Índices de interpretación, para caucho (*Hevea brasiliensis*) clon FX 3864, en la altillanura Colombiana, con una población de bajo rendimiento

ELEMENTO	ÍNDICE
N	-3,58
P	-0,63
K	-4,05
Ca	2,25
Mg	-1,28
Na	1,73
S	9,68
Fe	-0,19
Cu	-2,34
Mn	-0,93
Zn	-2,37
B	-1,13
IBN	30,16
IBNm	2,51

De acuerdo con Wadt (1999, 2005), quien menciona que si el I_A de un elemento es mayor que el IBNm, este tiene la posibilidad de presentar una mayor respuesta ya sea a su adición en el caso de signo negativo o restricción en el caso de signo positivo. Elementos como el N y K cumplirían con estas condiciones en el sentido de su adición y el S en el sentido de su restricción.

Adicionalmente se calculó el balance nutricional de la muestra encontrando que el orden de requerimiento para este caso fue:
 $K > N > Cu > Zn > Mg > B > Mn > P > Fe > Na > Ca > S$.

Estos resultados sugirieron que para el caso de la población de bajo rendimiento el nutriente más limitante es el K seguido del N por defecto y el Ca seguido del S por exceso, estos resultados son concordantes con los niveles encontrados en la población de baja producción (**Tabla 4-8**), y a su vez coinciden con lo reportado por Bataglia & Santos (1998), quienes para cultivos de caucho encontraron que bajos contenidos de K y altos contenidos de Ca indujeron deficiencias de K y N respectivamente, repercutiendo de forma negativa en la producción del caucho.

4.3 Normas DRIS para suelos

En general para las dos poblaciones (alta y baja producción) los suelos en los dos clones presentan homogeneidad química con valores medios similares en las diferentes variables estudiadas, este aspecto garantiza la homogeneidad del área de estudio a nivel edafológico y favorece la representatividad y calidad de las normas a obtener (Arizaleta et al., 2002; Silveira et al., 2005; Mourão-Filho, 2004).

Al analizar las medias de los elementos N, P, K, Ca y Mg del suelo, en la población de alto rendimiento (**Tabla 4-11**) se observa que dichas cantidades son inferiores a las reportadas por Pushparajah & Chew (1979) como ideal en el suelo para el cultivo de caucho, aspecto que está ligado directamente a la baja fertilidad química de los Oxisoles, mediante procesos que involucran la alta transformación y pérdida de elementos como Ca, Mg, K, Na (Malagón, 2003; Echart & Cavalli-Molina, 2001) y la alta saturación de Al, que en algunos casos provoca toxicidad en las plantas (Zapata, 2004; ICA, 1992; Casierra & Aguilar, 2007).

Para el clon FX 3864 las muestras correspondientes a la baja producción con respecto a las de alta producción, presentan mayor contenido de nutrientes aunque las diferencias no son estadísticamente significativas, la tendencia sugiere la importancia de un adecuado balance de los nutrientes en el suelo evitando antagonismos, ya que cuando los iones adsorbidos al complejo coloidal guardan una adecuada proporción, estos antagonismos no suelen presentarse (Gómez, 2008) facilitando la absorción por la planta. Así, aunque en la población de alta producción estos contenidos son menores su relación es más adecuada (Tabla 2), aspecto que se ve reflejado en una mayor producción. Esto también implica que un buen balance nutricional es más importante para un alto rendimiento que el efecto de un único nutriente (Lucena, 2003).

A diferencia del clon FX 3864, el clon RRIM 600 si presenta mayores contenidos de nutrientes en la población de alta producción, a excepción del Al, sin ser significativos estadísticamente pero marcando una tendencia. En lo relacionado con Al por presentar mayor contenido en la población de baja producción podría causar desbalances nutricionales en el suelo y genera toxicidad para la planta, siendo conocido el efecto del

Al⁺³ como el principal factor limitante para el crecimiento de los vegetales en suelos ácidos (Darko et al., 2003; Rithcie, 1995; Venegas, 1993).

Tabla 4-11: Estadística descriptiva de los elementos del suelo en zonas con poblaciones de alta y baja producción clon FX 3864

Variable	Alta Producción				Baja producción			
	\bar{X}	CV%	Mínimo	Máximo	\bar{X}	CV%	Mínimo	Máximo
FX 3864								
Producción (kg ha ⁻¹)	2550,10	14,27	2138,40	3492,70	1558	21,31	392	2084,9
MO (%)	2,74	12,93	1,95	3,21	2,77	14,01	1,51	3,61
pH	4,66	2,86	4,30	4,92	4,71	2,98	4,36	5,01
N (mg kg ⁻¹)	39,72	12,93	28,25	46,60	40,17	14,00	21,96	52,32
P (mg kg ⁻¹)	3,55	30,15	2,00	6,40	4,18	41,40	2,00	12,98
K (mg kg ⁻¹)	19,98	27,74	12,51	30,02	21,09	23,37	11,26	28,77
Ca (mg kg ⁻¹)	66,60	17,87	47,52	92,54	80,72	31,92	43,77	167,57
Mg (mg kg ⁻¹)	13,67	11,18	11,24	16,24	14,62	18,17	11,24	27,48
Al (mg kg ⁻¹)	195,19	11,88	150,54	243,60	194,08	18,58	123,17	277,81
Na (mg kg ⁻¹)	15,99	13,69	13,75	20,00	16,40	11,52	12,50	22,50
CICE (mg kg ⁻¹)	2,04	12,00	1,63	2,70	2,09	11,29	1,54	2,53
RRIM 600								
Producción (Kg ha ⁻¹)	3138,20	12,66	2690,80	4330,3	1932,70	27,74	392,00	2655,20
MO (%)	2,78	12,97	2,33	3,72	2,71	11,69	1,92	3,42
pH	4,78	2,21	4,53	5,01	4,79	2,09	4,60	5,04
N (mg kg ⁻¹)	40,30	12,98	33,80	53,99	39,31	11,68	27,83	49,60
P (mg kg ⁻¹)	4,19	71,51	2,32	15,98	3,92	41,43	2,01	11,27
K (mg kg ⁻¹)	28,44	32,02	17,51	51,29	27,89	26,78	13,76	51,29
Ca (mg kg ⁻¹)	83,12	35,09	50,02	160,06	81,19	40,55	40,02	163,81
Mg (mg kg ⁻¹)	15,65	27,44	11,24	23,73	14,84	21,98	8,74	22,48
Al (mg kg ⁻¹)	183,90	31,00	13,80	256,1	185,42	23,19	95,86	286,20
Na (mg kg ⁻¹)	15,07	21,15	11,25	21,25	15,61	27,24	10,00	32,50
CICE (mg kg ⁻¹)	2,05	20,18	0,61	2,46	2,51	13,61	1,41	2,77

\bar{X} : Media. CV: Coeficiente de variación. Elementos N, P, K, Ca, Mg, Al y Na en mg kg⁻¹.

Acevedo (2004) encontró que en plantaciones de caucho sembradas en el departamento de Caquetá (Colombia) el aluminio que se halló en altas concentraciones en el suelo,

apenas fue absorbido por las raíces del caucho en cantidades similares a las del hierro, por lo que su efecto para el caso del caucho podría estar más relacionado con la generación de desbalances en el suelo, pues se considera que el cultivo tolera altas saturaciones de Al (40 %), pero que en todo caso se requiere de enmiendas que permitan la corrección de acidez.

Castro et al., (2001) encontraron en plantaciones de caucho clon RRIM 600 en Brasil que los niveles de N, P, S, Cu y Zn fueron afectados negativamente por la ausencia en los suelos de enclavamiento.

Los coeficientes de variación de cada uno de los elementos en el suelo en general son bajos. El elemento con el mayor CV es el P seguido del K en los dos clones. También se observa que el suelo en el que se encuentra el clon RRIM 600 presenta mayores CV para cada elemento, factor que puede sugerir la mayor influencia de prácticas de cultivo sobre este clon, lo que aumenta el valor de los coeficientes de variación (Camachotamayo et al., 2008)

En lo relacionado al coeficiente de variación elevado del P y K Fernández et al. (2007) mencionan que las propiedades químicas del suelo generalmente presentan coeficientes de variación más elevados que las propiedades físicas, y específicamente los nutrientes P y K presentan coeficientes superiores al 50%, ya que son afectados en mayor grado por el manejo del suelo en cuanto a prácticas de labranza o aplicación de fertilizantes (Nkedi-Kizza et al, 1994; Orden et al., 2011).

Las poblaciones de alto rendimiento tanto en el clon FX 3864 como en el RRIM 600 presentan diferencia entre las medias de producción lo que indica que los parámetros tenidos en cuenta para la selección de las poblaciones fueron adecuadas. Se seleccionaron 21 normas para el clon FX 3864 y 21 para el clon RRIM 600 según el criterio de mayor valor entre la relación de las varianzas de la población de baja producción sobre la de alta producción (Prueba F) (**Tabla 4-12- Tabla 4-13**).

Los coeficientes de variación (CV) son bajos en los dos clones y oscilan entre 10 y 50 % para las normas seleccionadas lo que indica que el suelo en el cual se realizó el muestreo es homogéneo, factor que repercute positivamente en la calidad de la norma (Mourão-Filho, 2004) e indica que la base de datos fue adecuadamente construida y depurada (Franco, 2007) contribuyendo de manera positiva a la confiabilidad de las normas seleccionadas.

Lucena (2003) y Teixeira et al. (2007) mencionan que si el coeficiente de variación para las normas es bajo, indica que los elementos están bien correlacionados y al momento del cálculo de las funciones para los índices DRIS, estas tendrán alta repercusión en el cálculo de los índices.

Tabla 4-12: Relaciones y normas DRIS en suelos seleccionadas para caucho (*Hevea brasiliensis*) clon FX 3864, en la altillanura Colombiana.

Relación	\bar{X}	S ² A	CV (%)	S ² B/S ² A	Relación	\bar{X}	S ² A	CV (%)	S ² B/S ² A
N/P	12,00	10,11	26,50	1,499	Na/P	4,91	2,87	34,53	0,554
P/N	0,09	0,00	32,83	3,193*	K/Ca	0,31	0,01	31,79	1,244
N/K	2,15	0,51	33,11	1,018	Ca/K	3,58	1,41	33,07	2,015*
K/N	0,51	0,03	32,13	1,158*	K/Mg	1,47	0,19	29,23	0,949
N/Ca	0,61	0,01	19,30	2,417	Mg/K	0,74	0,04	28,19	1,594*
Ca/N	1,70	0,12	20,59	4,963*	K/Al	0,10	0,00	29,74	1,491*
N/Mg	2,93	0,20	15,29	1,399	Al/K	10,56	11,86	32,60	1,235
Mg/N	0,35	0,00	14,92	2,666*	K/Na	1,27	0,15	30,09	0,547
N/Al	0,20	0,00	9,56	2,650	Na/K	0,86	0,07	29,88	0,670*
Relación	\bar{X}	S ² A	CV (%)	S ² B/S ² A	Relación	\bar{X}	S ² A	CV (%)	S ² B/S ² A
Al/N	4,94	0,26	10,28	2,868*	Ca/Mg	4,90	0,78	18,03	3,359*
N/Na	2,53	0,24	19,13	1,007	Mg/Ca	0,21	0,00	16,19	2,043
Na/N	0,41	0,01	22,79	1,213*	Ca/Al	0,34	0,00	18,02	9,610*
P/K	0,19	0,00	33,25	1,826*	Al/Ca	3,00	0,28	17,56	4,474
K/P	6,03	5,96	40,46	0,667	Ca/Na	4,23	0,77	20,79	3,633*
P/Ca	0,05	0,00	36,02	1,023	Na/Ca	0,25	0,00	22,19	1,543
Ca/P	20,03	29,70	27,21	1,932*	Mg/Al	0,07	0,00	13,39	4,901*
P/Mg	0,26	0,01	29,65	3,094*	Al/Mg	14,42	5,49	16,24	1,991
Mg/P	4,14	1,32	27,74	1,445	Mg/Na	0,88	0,03	19,83	1,711*
P/Al	0,02	0,00	37,36	2,953*	Na/Mg	1,19	0,07	22,46	0,69
Al/P	59,17	270,30	27,79	1,385	Al/Na	12,39	4,14	16,42	1,999
P/Na	0,23	0,01	34,53	1,579*	Na/Al	0,08	0,00	17,03	2,512*

CV = coeficiente de variación. F (S² B/S² A) = relación entre varianzas de las poblaciones de alto y baja producción respectivamente. Los elementos N, P, K, Ca, Mg y S en porcentaje, los demás en mg kg⁻¹.

*Norma seleccionada.

Tabla 4-13: Relaciones y normas DRIS en suelos, seleccionadas para caucho (*Hevea brasiliensis*) clon RRIM 600, en la altillanura Colombiana.

Relación	\bar{x}	S ² A	CV (%)	S ² B/S ² A	Relación	\bar{x}	S ² A	CV (%)	S ² B/S ² A
N/P	11,63	14,22	32,44	0,89*	Na/P	4,22	1,37	27,70	1,69*
P/N	0,11	0,01	76,93	0,27	K/Ca	0,36	0,01	22,95	3,57*
N/K	1,52	0,15	25,12	1,20*	Ca/K	2,98	0,55	24,95	2,56
K/N	0,71	0,05	30,18	0,72	K/Mg	1,82	0,10	17,49	1,18
N/Ca	0,53	0,02	28,89	2,14	Mg/K	0,56	0,01	14,79	1,58*
Ca/N	2,05	0,36	29,36	2,17*	K/Al	0,24	0,11	138,56	0,03
N/Mg	2,69	0,26	19,08	1,71*	Al/K	7,26	13,46	50,54	0,65*
Mg/N	0,38	0,01	19,50	1,57	K/Na	1,87	0,13	19,09	1,20*
N/Al	0,35	0,33	164,10	0,01	Na/K	0,55	0,01	19,53	1,08
Al/N	4,61	2,27	32,70	0,41*	Ca/Mg	5,35	1,62	23,79	1,89*
N/Na	2,76	0,26	18,31	2,03	Mg/Ca	0,20	0,00	24,33	1,71
Na/N	0,38	0,01	20,56	2,10*	Ca/Al	0,67	0,74	129,02	0,09
P/K	0,16	0,03	96,78	0,13	Al/Ca	2,50	1,57	50,12	1,32*
K/P	8,03	7,80	34,78	0,74*	Ca/Na	5,48	1,95	25,51	2,20
P/Ca	0,06	0,00	104,32	0,16	Na/Ca	0,19	0,00	21,01	5,59*
Ca/P	23,75	93,40	40,69	1,25*	Mg/Al	0,14	0,04	154,41	0,02
P/Mg	0,29	0,08	95,11	0,19	Al/Mg	12,85	35,61	46,42	0,79*
Mg/P	4,44	2,20	33,43	0,83*	Mg/Na	1,04	0,04	19,23	1,14
P/Al	0,03	0,00	153,17	0,05	Na/Mg	0,99	0,03	18,20	1,69*
Al/P	54,08	794,11	52,11	0,56*	Al/Na	12,89	28,81	41,65	0,87*
P/Na	0,29	0,05	76,31	0,25	Na/Al	0,13	0,04	148,76	0,03

CV = coeficiente de variación. F (S² B/S²A) = relación entre varianzas de las poblaciones de alto y baja producción respectivamente. Los elementos N, P, K, Ca, Mg y S en porcentaje, los demás en mg kg⁻¹.

*Norma seleccionada.

Se obtuvo la correlación para las relaciones de las normas seleccionadas con respecto a la población de alta producción (**Tabla 4-14**), encontrando que las relaciones en las que se involucra el Al en el numerador presentan una correlación significativa y positiva, esto indica el papel que estaría jugando el Al y su interacción con el N, P, K y Mg en el producción.

Al realizar el análisis de correlación para las relaciones de la población de alta producción con respecto a la producción en general el clon FX 3864, se observa que algunas relaciones que involucran al N presentan correlaciones significativas positivas y negativas. (Tabla 4-14)

Tabla 4-14: Valor correlaciones de Pearson significativas (<0,005) para las relaciones en la población de alto rendimiento, para caucho clon FX3864 y RRIM 600.

Relación	Correlación RRIM 600	Relación	Correlación FX 3864
Al/N	0,55	N/Ca	-0,55
Al/P	0,62	Ca/N	0,58
Al/K	0,56	N/Mg	-0,56
Al/Mg	0,52	Mg/N	0,60
		N/Al	-0,47
		Al/N	0,52

Cuando se analizan estas correlaciones con respecto a las normas seleccionadas para el N en el clon FX 3864 se evidencia que las relaciones que involucran al N como denominador y que fueron seleccionadas, presentaron una correlación significativa positiva con la producción. Este aspecto evidencia la importancia del N y las relaciones en las que interviene, en la producción del caucho. Acevedo (2004) en trabajos realizados en plantaciones de caucho del lomerío amazónico, menciona que el nitrógeno es el macronutriente aniónico más exigido y más abundante en todo el sistema del cultivo, es absorbido bajo la forma NH_4^+ y NO_3^- . Es un elemento esencial que además de ser constituyente de compuestos vitales y de participar en la formación de clorofila, es de gran importancia para la planta del caucho en diversas fases de desarrollo y producción del látex. La ausencia de este elemento trae como consecuencia un amarillamiento en las hojas, reduciendo así su capacidad fotosintética y demás funciones metabólicas, que repercuten directamente en la producción de látex.

Una vez obtenidas las relaciones se calcularon los índices DRIS para la población de bajo rendimiento en los dos clones, pues se consideró que es en esta población donde se están expresando los desequilibrios nutricionales (Sánchez et al., 2009). De esta forma se encontró que los elementos que limitan la producción por deficiencias son el N para el clon FX 6834 y el Ca para el clon RRIM 600. Esto reafirma la importancia del N así como sus relaciones para la producción. En cuanto al Ca y su importancia en el cultivo de caucho, Acevedo (2004) menciona que el Ca es el catión principal de la pared celular en forma de pectato, por eso, este elemento tiene importancia relativa en la resistencia mecánica de los tejidos; en dosis reducidas activa algunas enzimas

probablemente a nivel de vasos laticíferos, es indispensable para el funcionamiento de los meristemos y desarrollo radicular, actúa en el metabolismo del nitrógeno y su deficiencia en las plantas origina la no asimilación de los nitratos. También se afecta la redistribución en los diferentes órganos de la planta perjudicando la producción.

Tabla 4-15: Índices de balance nutricional para suelo, en el cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) clon FX 3864, en la altillanura Colombiana.

Elemento	IBN	
	FX 3864	RRIM 600
N	-3,680	-0,496
P	3,491	0,515
K	-0,028	0,378
Ca	4,666	-2,052
Mg	0,614	0,155
Al	2,911	0,766
Na	-1,623	2,615
IBN	16,72	6,82
IBN_M	1,52	0,62

Con los índices obtenidos se estableció que el orden de requerimiento nutricional para la población de baja producción fue:

FX 3864: N>Na>K>Mg>Al>P>Ca

RRIM 600: Ca>N>Mg>K>P>Al>Na

Según este diagnóstico y de acuerdo con Wadt (1999), elementos como el N en el clon FX 6834 y el Ca para el clon RRIM 600, al presentar un índice negativo y un valor absoluto mayor al IBN_M, tienen una mayor probabilidad de respuesta a su aplicación.

Se observa que en el caso del Ca sus índices son contrarios en los dos clones, mientras que en el clon FX 3864 su contenido de acuerdo con el índice (4,66) limita la producción por excesos en el RRIM 600 limita la producción por deficiencias (-2,61). Este comportamiento refleja los resultados obtenidos mediante estadística multivariada (**Tabla 4-3**) donde se observa que el Ca del suelo presenta un coeficiente significativo y positivo con la producción en el clon RRIM 600 haciendo parte del primer componente principal. Así mismo, este comportamiento se observa en la estadística descriptiva realizada a la base de datos de alta y baja producción (**Tabla 4-11**) donde mayores contenidos Ca en el clon FX 3864 se asocian a bajas producciones, caso contrario al clon RRIM 600 donde mayores contenidos de Ca repercuten de forma positiva con la producción.

Estos resultados también coinciden con el diagnóstico realizado a nivel foliar donde para el clon FX 3864 se presentan índices positivos y distantes de cero, que indican excesos y muestran la relación existente entre el Ca del suelo y Ca foliar.

Al respecto Garcia et al. (2004), evaluando el estado nutricional y la producción de caucho seco en plantaciones en Brasil de tipo RRIM 600, aplicando cal superficial encontró que la cal neutralizó la acidez del suelo y aumentó la saturación de bases, mejorando la producción de caucho seco, con lo que se obtuvo una respuesta positiva a su aplicación.

En contraposición Reis et al. (1984) y Pereira & Pereira (1987), en trabajos realizados en Brasil en clones de tipo IAN no obtuvieron respuesta ni en vivero ni en producción a la aplicación de cal en suelos con pH de 4,2.

Así, se evidencia que dependiendo del tipo de clon su respuesta puede ser diferente a los niveles de Ca en el suelo, encontrando que bajo las condiciones estudiadas en este trabajo el elemento repercute positivamente en la producción para el clon RRIM 600 y negativamente en el clon FX 3864.

A nivel general teniendo en cuenta todos los elementos se observa que en el clon RRIM 600 se presentan índices con valores más cercanos a cero lo que podría estar influyendo en algún grado las diferencias de producción que existen entre los dos clones.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Los dos clones presentan diferencias en producción y en el contenido de nutrientes, por lo que, su diagnóstico nutricional debe realizarse de forma independiente con el fin de obtener resultados satisfactorios en cada clon.
- El análisis mediante estadística multivariada (ACP y clúster) logró identificar relaciones del K, Ca y Mg del suelo con la producción para el clon RRIM 600 mientras que, para el clon FX 3864 la estadística logró identificar relaciones de la producción con el pH, N y Al del suelo.
- Las normas obtenidas permiten establecer diferencias a nivel de producción entre la base de datos de alta y baja producción para los dos clones, lo que indica que los elementos y factores tenidos en cuenta para su desarrollo son adecuados.
- El diagnóstico nutricional mediante los índices DRIS a nivel foliar para el clon RRIM 600 y el clon FX 3864 indicó que el K es elemento que mas limita la producción y mayor probabilidad de respuesta tiene a la aplicación bajo condiciones de la altillanura Colombiana.
- A nivel de suelos el diagnóstico nutricional mediante índices DRIS indico que para el caso del clon RRIM 600 el elemento que mas limita la producción por defecto es el Ca, mientras que, para el clon FX 3864 el elemento que mas limita la producción es el N.
- La estadística ultivariada y el diagnóstico mediante DRI sugiere que requerimiento de Ca para el cultivo del caucho varía dependiendo del tipo de clon, encontrando que en el clon RRIM 600 altos contenidos de Ca están asociados a altas producciones, mientras que en el clon FX 3864 altos contenidos de Ca están asociados bajas producciones.

- Pequeñas variaciones en el contenido y balance de los elementos Cu y S a nivel foliar pueden afectar la producción del caucho en el clon RRIM 600 y se recomienda su utilización en áreas con condiciones similares a la altillanura colombiana.
- Las normas DRIS para Caucho en la altillanura colombiana difieren de las obtenidas en otras partes del mundo, por lo que se valida la importancia de establecer el DRIS de manera local.

5.2 Recomendaciones

- Es necesario recolectar datos de producción con árboles de diferentes edades en otras localidades de la altillanura con el objetivo de complementar y ampliar la base de datos.
- Se recomienda la implementación de trabajos de campo enfocados en tratamientos de fertilización con diseños experimentales que permitan comprobar y ajustar las normas obtenidas en este trabajo, tanto a nivel foliar como de suelos.
- Se recomienda la realización de trabajos que permitan la evaluación en estos dos clones del efecto del Ca sobre la producción.
- En trabajos posteriores es importante obtener las normas por otras metodologías como el criterio "R" propuesto por Nick (1986) con el fin de identificar posibles coincidencias y desacuerdos, que permitan complementar y evaluar las normas obtenidas en este trabajo por otras metodologías existentes.

A. Anexo: Anovas suelos

Source	DF	SS	MS	F	P
Matéria orgánica					
Tratamiento	1	0,022	0,022	0,17	0,677 ^{ns}
Error	151	19,363	0,128		
Total	152	19,385			
pH					
Tratamiento	1	0,3126	0,3126	21,49	0,000**
Error	151	2,1966	0,0145		
Total	152	2,5092			
N					
Tratamiento	1	4,6	4,6	0,17	0,681 ^{ns}
Error	151	4068,5	26,9		
Total	152	4073,1			
P					
Tratamiento	1	0,08	0,08	0,02	0,877 ^{ns}
Error	151	505,86	3,35		
Total	152	505,94			
K					
Tratamiento	1	1881,1	1881,1	46,56	0,000**
Error	151	6100,4	40,4		
Total	152	7981,5			
Ca					
Tratamiento	1	661	661	0,84	0,360 ^{ns}
Error	151	118668	786		
Total	152	119329			
Mg					
Tratamiento	1	17,10	17,10	1,83	0,178 ^{ns}
Error	151	1408,39	9,33		
Total	152	1425,49			
Al					
Tratamiento	1	2850	2850	1,78	0,184 ^{ns}
Error	151	241547	1600		
Total	152	244397			
Na					
Tratamiento	1	29,02	29,02	3,00	0,085 ^{ns}
Error	151	1462,48	9,69		
Total	152	1491,50			

Continuación Anexo 1...

	CICE				
Tratamiento	1	0,0311	0,0311	0,41	0,521 ^{ns}
Error	151	11,3323	0,0750		
Total	152	11,3634			

B. Anexo: Anovas foliares

Source	DF	SS	MS	F	P
	Producción				
Tratamiento	1	7112861	7112861	17.21	0.000**
Error	151	62402378	413261		
Total	152	69515238			
	N				
Tratamiento	1	0.6986	0.6986	7.95	0.005**
Error	151	13.2728	0.0879		
Total	152	13.9714			
	P				
Tratamiento	1	1.68161	1.68161	244.22	0.000**
Error	151	1.03971	0.00689		
Total	152	2.72133			
	K				
Tratamiento	1	2.1605	2.1605	30.15	0.000**
Error	151	10.8201	0.0717		
Total	152	12.9807			
	Ca				
Tratamiento	1	6.6693	6.6693	87.01	0.000**
Error	151	11.5738	0.0766		
Total	152	18.2430			
	Mg				
Tratamiento	1	0.06361	0.06361	8.49	0.004**
Error	151	1.13180	0.00750		
Total	152	1.19541			
	Na				
Tratamiento	1	0.0002731	0.0002731	4.23	0.041*
Error	151	0.0097503	0.0000646		
Total	152	0.0100234			
	S				
Tratamiento	1	0.01114	0.01114	2.12	0.147 ^{ns}
Error	151	0.79147	0.00524		
Total	152	0.80261			
	Fe				
Tratamiento	1	74618	74618	20.14	0.000**
Error	151	559457	3705		
Total	152	634075			

Continuación Anexo 2...

Cu					
Tratamiento	1	726.1	726.1	29.80	0.000**
Error	151	3679.6	24.4		
Total	152	4405.7			
Mn					
Tratamiento	1	16711	16711	8.10	0.005**
Error	151	311554	2063		
Total	152	328264			
Source	DF	SS	MS	F	P
Zn					
Tratamiento	1	247.1	247.1	11.26	0.001**
Error	151	3313.9	21.9		
Total	152	3561.0			
B					
Tratamiento	1	4278	4278	5.33	0.022*
Error	151	121110	802		
Total	152	125387			

C. Perfil modal de suelos

Tipo de perfil: Modal

Taxonomía: Inceptic Hapludox, franca gruesa, kaolinitica, e isohipertérmica

Localización geográfica: Departamento: Meta. Municipio: Puerto López.

Sitio: Finca Mavalle S.A.

Paisaje: Altiplanicie estructural. Tipo de relieve: Mesas y superficie onduladas. Forma del terreno: Litología /

Sedimentos: Arcillas con recubrimientos continuos de limos eólicos

Clase de pendiente: ligeramente ondulada. Pendiente (%):3-7.

Clima ambiental: Cálido húmedo

Precipitación promedio anual: Alrededor de 2.000 mm. Temperatura promedio anual: 25°C

Clima edáfico: údico e isohipertérmico

Erosión: no hay. Tipo: no hay. Grado: no hay.

Movimientos en masa: Clase . Tipo: Frecuencia:

Pedregosidad superficial: no hay. Tipo: Clase:

Afloramientos rocosos: no hay. Clase: Superficie cubierta:

Inundaciones: no hay. Frecuencia: Duración:

Encharcamientos: no hay. Frecuencia: Duración:

Nivel freático: no se encontró

Drenaje natural: Externo lento, interno moderado, natural bien drenado.

Profundidad efectiva: Profunda.

Horizontes diagnósticos: epipedón ócrico, endopedón óxico

Características diagnósticas: endopedon óxico, régimen de humedad údico.

Vegetación natural: sustituida por cultivos comerciales de caucho

Descrito por: E. Chacón & J.P. Fernández. Fecha: Junio de 2010

00 - 22cm. Ap	Color en húmedo pardo oscuro (7.5YR3/3) y pardo rojizo oscuro (5YR4/6); textura franco arenosa; estructura en bloques subangulares medios y finos, moderados; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; muchos poros medios y finos; frecuente actividad de macroorganismos; frecuentes raíces finas y medias, vivas y de distribución normal; límite difuso; pH 4.5, muy fuertemente ácido.
22- 45cm. Bw	Color en húmedo pardo rojizo (2.5YR4/6); textura franco arenosa; estructura en bloques subangulares finos y medios, moderados; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; muchos poros finos y medios, poca actividad de macroorganismos; frecuentes raíces finas y medias, vivas; límite difuso; pH 4.7, muy fuertemente ácido.
45 - 100cm. Bo	Color en húmedo pardo rojizo (2.5YR4/4) textura franco arenosa; estructura en bloques subangulares medios y finos, débiles; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa y no plástica; muchos poros finos y pocos medios; no hay actividad de macroorganismos; pocas raíces finas y medias, vivas; pH 4.9, muy fuertemente ácido.
Observaciones	En superficie se encuentra una capa de 5 cm de materia orgánica compuestas por hojarasca y madera en diferentes estados de descomposición.

Bibliografía

1. **AGROCADENAS ANUARIO.** Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Ed. Mundo 3D. Bogotá. Colombia. 2006.
2. **AGUIRRE, R.C.** Manual para el cultivo del hule. C.M.H.A.C. México D.F. 1996. 300 p.
3. **ALVES, D.S.J.; GUEDES, D.C.J.** Estabelecimento de normas DRIS para bananeira Prata Anã (AAB) sobirrigação. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.30, n.1, p.43-51, 2006.
4. **AMÉZQUITA, E.; CHÁVEZ, L.F.; BERNAL, J.H.** Construcción de una “capa arable” en suelos pobres: conceptos esenciales aplicados en la Altillanura. Folleto con la participación de COLCIENCIAS, CIAT y CORPOICA, Cali, Colombia. **2002.**
5. **AMÉZQUITA, E.; SANZ, J.I.; THOMAS, R.J.; VERA, R.R.; HOYOS, P.; MOLINA, D.L.; CHÁVEZ, L.F.** Características estructurales de los suelos de los Llanos Orientales de Colombia sometidos a varios sistemas de manejo. *Revista Suelos Ecuatoriales* v.27, p.151-156, 1997.
6. **ÁNGELES, D.E.; SUMNER, M.E.; LAHAV, E.** Preliminary DRIS norms for banana. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.16, p.1059-70, 1993.
7. **ARBOLEDA, C.** DRIS una alternativa para la interpretación de resultados de análisis foliar en café. *Agricultura Colombiana*, v.5, p.17-30, 1988.
8. **ARIZALETA, M.; RODRÍGUEZ, O.; RODRÍGUEZ, V.** Relación de los índices DRIS, índices de balance de nutrientes, contenido foliar de nutrientes y rendimiento del cafeto en Venezuela. *Bioagro*. v.14 n.3, p.153-159. 2002.
9. **BALDOCK, J.; SCHULTE, E.** Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. *Agriculture. Journal*. v.88, p.448-456, 1996.
10. **BATAGLIA, O.C., SANTOS, W.R.** Diagnose visual e análise de plantas. Anais reunião Brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas. Fundação Cargill. p.369-393, 1992.

11. **BATAGLIA, O. C. Y SANTOS, W. R.** Efeitos da adubação NPK na fertilidade do solo, nutrição e crescimento da seringueira. Revista Brasileira do Ciência do Solo, Vicoso MG, Brasil, v.23, n.4, p.881-890, 1999.
12. **BATAGLIA, O.C.** Nutrição e adubação da seringueira. Informações Agronômicas, Piracicaba, Brasil, v.38 p.1-5, 1987.
13. **BATAGLIA, O.C., SANTOS, W.R.** Nutrição e adubação de seringais em formação e produção. I Ciclo de Palestras sobre a Heveicultura Paulista, Barretos-SP. 1998. 16 p
14. **BATAGLIA, O.C.; CARDOZO, M.; VISCAINO, C.M.** Situação nutricional de seringais produtivos no estado de São Paulo Bragantia, Campina (Brasil), v.47, n.1, p.109-123, 1988.
15. **BATAGLIA, O.C.; SANTOS, W.R.; GONÇALVES, P.S.; JUNIOR, I.S.; CARDOSO, M.** Efeito da adubação NPK sobre o período de imaturidade da seringueira. Bragantia, Campinas, v.58, n.2, p363-374, 1999.
16. **BATAGLIA, O.C.; SANTOS, W.R.; IGUE, T.; GONÇALVES, P.S.** Resposta da seringueira clone RRIM 600 à adubação NPK em solo Podzólico Vermelho Amarelo. Bragantia, Campinas v.57, p.367-377, 1998.
17. **BEAUFILS, E.R.** Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). A general scheme of experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa. Soil Science Bulletin, v.1, p.132, 1973.
18. **BEAUFILS, E.R.** Physiological diagnosis. A guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. J. Fert. Soc. S. Afr, v, p.1-31, 1971.
19. **BEAUFILS, E.R.** Research for rational exploitation of *Hevea brasiliensis* using a physiological diagnosis based on mineral analysis of various parts of the plant. Fertilité v.3, p.27, 1957.
20. **BEAUFILS, E.R; SUMNER, M.E.** Application of the DRIS approach for calibrating soil, plant yield and quality factors of sugarcane. Proc. S. Afr. Sugar Tech. Assc, v.50, p.118-124, 1976.
21. **BEAUFILS, E.R.; SUMNER, M.E.** Effect of time of sampling on the diagnosis of N, P, K, Ca, and Mg requirements of sugarcane by the DRIS approach. Proc. S. Afr. Sugar Tech. Assc, v.51, p.62-67, 1977.
22. **BEVERLY, R.B.** A practical guide to the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Athens: Micro-Macro, 1991. 87p.

23. **BEVERLY, R.J. STARK, J. EMBLETON, T.** Nutrient diagnosis of Valencia orange by DRIS. American Society for Horticultural Science, v.109, p.649-654, 1984.
24. **BHARGAVA, B.S.; CHADHA, K.L.** Leaf nutrient guide for fruit and plantation crops. Fertility News, v.33, p.21-29, 1988.
25. **BOLTON, J.** The manuring and cultivation of *Hevea brasiliensis*. Journal of the Science of Food and Agriculture, v.15, p.1-8, 1964.
26. **CAMACHO-TAMAYO, C.T; LUENGAS, C; LEIVA F.R.** Análisis multivariado de propiedades químicas en Oxisoles con diferentes niveles de intervención agrícola. Acta Agronómica, v.59, n.3, 2010.
27. **CAMACHO-TAMAYO, C.T; LUENGAS, C; LEIVA F.R.** Effect of agricultural intervention on the spatial variability of some soils chemical properties in the eastern plains of Colombia. Chilean journal of agricultural research, v.68, n.1, p.42-55, 2008.
28. **CASIERRA, F.; AGUILAR, O.** Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Revista colombiana de ciencias hortícolas, Bogotá, Colombia, v.1, n.2, p.246-257, 2007.
29. **CASIERRA, P.F.; LIZARAZO, L.M.; GALDINO, A.F.** Estado nutricional de árboles de manzano 'Anna' durante la estación de crecimiento en los altiplanos Colombianos: II. Relaciones e interacciones entre nutrientes. Agronomía Colombiana, v.22, n.2, p.160-169, 2004.
30. **CASTRO, V. F.; MOREIRA, A.; CASTRO DE CAMARGO, P.R.** Efeito da calagem e adubação da seringueira no estado nutricional e produção de borracha seca. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.36, n.8, p.019-1026, 2001.
31. **CHATFIELD, C. and A.J. COLLINS.** Introduction to multivariate Analysis. Chapman and Hall. New York. 1980, 246 p.
32. **CHRISTOPHERSEN, N. and R. HOOPER.** Analysis of stream water chemical data: the use of principal components analysis for the end-member mixing problem. Water Resour. Res. v. 8, n.1, p.99-107, 1992.
33. **CIAT.** Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los llanos orientales de Colombia. Cali, Colombia, 2001, 308pp.
34. **COCHRANE, T.T.; SÁNCHEZ, L.F.** Clima, paisaje y suelos de las Sabanas tropicales de Suramérica. Inverciencias, v.6, p.239-243, 1981.

35. **COCHRANE, T.T.; SÁNCHEZ; L.F.; PORRAS J.A.; DE AZEVEDO, L.G.; GARVER, C.L.** Land in Tropical América. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria, Centro de Pesquisa Agropecuaria dos Cerrados (EMBRAPAC), Planaltina, D.F., Brasil. CIAT, Cali, Colombia. 1985. v1, 146p.
36. **COLEMAN, M.D.** DRIS Analysis identifies a Common Potassium Imbalance in Sweetgum Plantations. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.34, n.13 y 14, p.1919-1941, 2003.
37. **COMPAGNON, P.** El caucho Natural. Consejo Mexicano del hule y CIRAD. México, D.F. 1988. 710 p.
38. **COMPANON, P.** El Caucho natural biología-cultivo-producción. Edición en español Consejo Mexicano del Hule y CIRAD-CMH. México, D.F. 1998. 695 p.
39. **CONIF-MADR.** Zonificación de áreas aptas para el cultivo del caucho en Colombia. (1997).
40. **Daie, J.** Carbohydrate partitioning and metabolism in crops. Hort. Rev. v,17, p.69-108, 1985.
41. **DARKO, E.; AMBUS, E.; STEFANOVITS, J.; FODOR, F.; BARNABAS, B.** Aluminium toxicity, aluminium tolerance and oxidative stress in Al- sensitive wheat genotype and in Al- tolerant lines developed by in vitro microspore selection Plant Science, v.166, n.3, p.583-591, 2003.
42. **DEMEY, J. R.; ADAMS, M.; FREITES, H.** Uso del método de análisis de componentes principales para la caracterización de fincas agropecuarias. Agronomía Tropical. v.44, n.3, p.475-497,1994.
43. **DIAS, J.R.; WADT, P.G.S.; FOLLE, F.A.; SOLINO, A.J.S.; DELARME LINDA, E.A.; TAVELL, L.B.** Potencial de resposta à adubação para N, P, K, Ca e Mg em cupuaçueiros avaliados por diferentes normas DRIS. Revista Acta Amazonica, v.41, n.1, p.77-82, 2011.
44. **DOMÍNGUEZ, O.F; RODRÍGUEZ, S.L; BARÓN, M.R.** Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de caucho natural y su industria en Colombia ISBN: 978-958-8536-02-6. Editorial Giro Editores Ltda. 2009.
45. **DOS SANTOS, A.L.; MONNERAT, P.H.; CORDEIRO DE CARVALHO, A.J.** Estabelecimento de normas DRIS para o diagnóstico nutricional do Coqueiro-Anão verde na região norte fluminense. Revista Brasileira Fruticultura Jaboticabal - SP, v. 26, n.2, p.330-334, 2004.

46. **ECHART, C.L.; CAVALLI-MOLINA, S.** Fitotoxicidade do alumínio: Efeitos, mecanismo de tolerancia e seu controle genético. *Ciencia Rural Santa María*, v.31, n.3, p.531-541, 2001.
47. **ESCOBAR-ACEVEDO, C. J.** El cultivo del caucho con enfoque agroforestal. Cartilla divulgativa. Corpoica. 2004. 33 p.
48. **ESCOBAR-ACEVEDO, C. J.; OSORIO-MORENO, V. E.** El cultivo del caucho (*Hevea brasiliensis Muell*) en Agroforestería en el Piedemonte Amazónico. Colombia. Cartilla divulgativa. 2002, 22. p
49. **FALCÃO, N.P.** 1996. Adubação N P K afetando o desenvolvimento do caule da seringueira e parâmetros fisiológicos do látex. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 134 p.
50. **FAOSTAT-FAO.** Dirección de Estadística 2012-31 mayo 2012. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>
51. **FERNÁNDEZ, O.; PÉREZ, R.; GUBINELLI, A., MATHEUS, J.** Influencia de La variabilidad espacial del suelo sobre para,etros de La caña de azucar (*Sacharum Officinarum*) em Monay estado Trujillo. Venezuela, *Agricultura Andina*, v.13, p.39-52, 2007.
52. **FERREIRA DE SANTANA, C.A.; MENEGUELLI, N.A.; DE SOUSA, J.A.; DAEIRA, P.A.; FERREIRA, T.J.** Avalicão do estado nutricional de seringais implantado na região da zona da Mata da Mina Gerais. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.37, n.10, p.1437-1444, 2002.
53. **FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SCAPIM, C. A.** Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. V.31, n.1, p.9-19, 2007.
54. **FIGUEIREDO, M.R.; MOTA, L.E.; MESQUITA, A.C.; DELÚ F.N.** Variação sazonal de algumas características nutricionais e bioquímicas relacionadas com a produção de látex em clones de seringueira [*hevea brasiliensis (wild.) muell. arg.*], em lavras-mg. *Ciência e agrotecnologia*, Lavras, v.28, n.6, p.1326-1335, 2004.
55. **FLORES, J.A.; GARAY, V.J.; PEÑA, C.** Evaluación Nutricional de Plantaciones de *Hevea Brasiliensis Muell.* Arg., Sector El Pozo, San Fernando de Atabapo, Estado Amazonas, Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*, v.36, p.83-107, 2004.
56. **FRANCO, H.J.** 2007. Determinación de normas de diagnóstico nutricional para el cultivo de rosa de corte en Colombia. Universidad nacional de Colombia Facultad de Agronomía. Bogotá (Colombia). 171 pp.

57. **FRAZÃO, D.A.C.** Efeitos dos elementos e suas deficiências. In: HAAG., H.P., ed. Nutrição e Adubação da Seringueira no Brasil. Campinas, Fundação Cargill, 1983. p. 41-53.
58. **GALÍNDEZ, A.A.S.; CRUZ, J.G.; ZÉREGA, L.; RODRÍGUEZ, O.A.R.; OLIVEIRA, S.A. de; PÉREZ, V. de J.R.** Normas preliminares DRIS desarrolladas para caña de azúcar a partir de un bajo número de muestras. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.44, p.1700-1706, 2009.
59. **GARCIA, R.C.; PRADO, R.M.; NATALE, W.; BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.** Estado nutricional e produtividade da seringueira em solo com calcário aplicado superficialmente. Pesquisa Agropecuaria. Brasileira, Brasília, v.39, n.5, p.485-490, 2004.
60. **GUHA, M.M.** Recent advances in fertilizer usage for rubber in Malaya. Journal of the rubber research Institute of Malaya, Kuala Lumpur, v.21, p.207-218, 1969
61. **GUERRINI, I.; HAAG, H.P.; WEBER, H.; DECHEN, A.R.** Nutrição mineral da seringueira i crescimento e recrutamento de macronutrientes no período de quatro anos pelo clone fx 3864 na região de rio branco. Parte da dissertação apresentada pelo primeiro autor ã E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba. 1983, 52p.
62. **HUNDAL, J.S.** DRIS for monitoring nutrient status of mango trees in submountainous area of Punjab, India. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.36, n.15 y 16, p.2085, 2005.
63. **IGAC.** Subdirección de Agrología. Métodos Analíticos del Laboratorio. 6° Edición. Bogotá D.C, 2006. 648
64. **IGAC.** Manual de Campo para Levantamiento de Suelos y Tierras Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2007
65. **INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO [ICA].** Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Manual de asistencia técnica N° 25. Instituto Colombiano Agropecuario, Bogotá. 1992. 64 p.
66. **JACOB, J. L.; SERRES, J. C.** Mise au point du diagnostic látex chez l'Hevea. Agritop, Montpellier, v. 12, n. 2, p.97-115, 1988.
67. **JACOB, J.L.; PREVOT, J.C.** Yield limiting factors, latex physiological parameters, latex diagnosis and clonal typology. In: D'AUZAC, J.; JACOB, J. L.; CHRESTIN, H. Physiology of rubber tree latex. Boca Raton: CRC, 1989. p 345-382.

68. **JAIMES, W.; NAVAS.; G., SALAMANCA, C.; CONDE, A.** Estudio detallado de suelos de la estación experimental de Corpoica Sabanas en la Altillanura colombiana. Corpoica, C. I. La Libertad, Villavicencio, Colombia. 2003. 62 p.
69. **JONES JUNIOR, J.B.; WOLF, B.; MILLS, H.A.** Plant analysis handbook. Athens: Micro Macro, 1991. 213 p.
70. **JONES, W.W.** Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analyses. Communications Soil Science. Plant Analysis, v.12, p.785-794, 1981.
71. **KEYS TO SOIL TAXONOMY.** 10 Th Ed. Estados Unidos: USDA, 2010. 332p
72. **KITAMURA, M. C.** Influência de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio no desenvolvimento da seringueira jovem (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) em um solo sob cerrado de Mato Grosso do Sul. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1992. 90 p.
73. **LEITE, R. DE A.** Avaliação do estado do cafeeiro conilon no estado do Espírito Santo utilizando diferentes métodos de interpretação de análise foliar. (Tese - Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, 1992. 87p.
74. **LETZSCH, W.S.; SUMNER, M.** Effect of population size and yield level in selection of Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) norms. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.15, p.997-1006, 1984.
75. **LIMA, D. U.** Avaliação sazonal da produção de borracha e da dinâmica de carboidratos solúveis em plantas de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg) cultivadas em Lavras, Minas Gerais. *Árvore*, Viçosa, v.26, n.3, p.377-383, 2002.
76. **LIMA, J.S.S.; OLIVEIRA, R.B.; SILVA, S.A.** Estudo da fertilidade do solo em lavoura de café conilon utilizando análise multivariada e geoestatística. In: Simpósio De Geoestatística Em Ciências Agrárias, 2009, Botucatu. Anais. Botucatu, FCA/UNESP, 2009. CD ROM.
77. **LUCENA, J.J.** Methods of diagnosis of mineral nutrition of plants a critical review. *Acta Horticulturae*. (ISHS) 448, p.179-192, 1997.
78. **LUCENA, J.J.; RUANO, S.; GARCÍA, P.; GINÉS, I.; MARISCAL, S.** Normas para el diagnóstico del análisis foliar del olivo, partiendo de la base de datos de fertiberia. Madrid, España, 2003, 26. PP
79. **LUDWIG, J.A.; REYNOLDS, J.F.** Statistical Ecology: a primer on methods and computing. New York: John Wiley & Sons, 1998

80. **MALAGÓN, D.** Ensayo sobre tipología de suelos colombianos - énfasis en génesis y aspectos ambientales. revista academia colombiana de ciencias, Bogotá, v.27: p.104, 2003.
81. **MALAVOLTA, E.G. VITTI, S.; DE OLIVEIRA,** Avaliação do estado nutricional das plantas. Principios e aplicações. 2a edição. Piracicaba. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Brasil.1997.
82. **MANLY, B.F.J.** Multivariate statistical methods. A primer. Second Ed. Chapman & Hall, London. 1997. 216 p.
83. **MARENCO, R.A.; LOPES, N.F.** Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa: UFV. 2007. 469 p.
84. **MASHNER, H.** Mineral nutrition of higher plants. Academic Press London. 2002, 889p.
85. **MEDINA, M.C.** Normas DRIS preliminares para Nogal pecanero. Terra Latinoamericana, v.22, n.4, p.445-450, 2004.
86. **MEDRADO, M.J.S.; COSTA, J.D.; FONSECA FILHO, H.; BERNARDES, M.S.; DURAES, F.** Ciclagem de nutrientes em seringueiras de cultivo. Universitário de Agronomia, v.2, p.19-21, 1991.
87. **MELÉM JUNIOR, N.J.; FONSECA, I.C.B.; BRITO, O.R.; DECAËNS, T.; CARNEIRO, M.M.; MATOS, M.F.A.; GUEDES, M.C.; QUEIROZ, J.A.L.; BARROSO, K.O.** Análise de componentes principais para avaliação de resultados analíticos da fertilidade de solos do Amapá. Semina, v.29, p.499-506, 2008.
88. **MESQUITA, A.C.; MOTA DE OLIVEIRA L.E.; RAMOS A.P.; MOREIRA, A A.** Sazonalidade da produção e características do látex de clones de seringueira em lavras, MG. Bragantia, Campinas, v.65, n.4, p.633-639, 2006.
89. **MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL OBSERVATORIO AGROCADENAS COLOMBIA.** Agenda de investigación de cadenas productivas. 2009. Boletín 03.
90. **MOLINA, D.; AMÉZQUITA, E.; HOYOS, P.** Construcción de capas arables en suelos Oxisoles de la Altillanura colombiana. Unidad de Suelos del Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. 2003.
91. **MOURÃO-FILHO, F.A.A.** DRIS: Concepts and applications on nutritional diagnosis in fruit crops. Scientia Agricola, v.61, n.5, p.550-560, 2004.

92. **MOURÃO-FILHO, F.A.A.; AZEVEDO, J.C.** DRIS norms for Valencia sweet orange on three rootstocks. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, p.85-93, 2003.
93. **MOURÃO-FILHO, F.A.A.; AZEVEDO, J.C.; NICK, J.A.** Orders and function of the ratio of nutrients in the establishment of DRIS norms in orange "Valencia". *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.37, p.185-192, 2002.
94. **MUNSON, R.D., AND NELSON, W.L.** Principles and practices in plant analysis. 1990. 359-387p. In R.L. Westerman (Ed.) *Soil Testing and Plant Analysis*. Soil Science Society of America, Madison, WI.
95. **MURBACH, M. R.** 1997. Efeitos de níveis de nitrogênio, fósforo e potássio no desenvolvimento, produtividade de borracha seca e exportação de nutrientes pela seringueira. *Dissertação Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas*, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 94 pp.
96. **MURBACH, M.R.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; DE SOUZA, E.C.A.** 2003. Nutrient cycling in a RRIM 600 clone rubber plantation *Scientia Agricola*. (Brasil), v.60, n.2, p.353-357, 2003.
97. **MURBACH, M.R.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; SILVEIRA, R.I.; BOARETTO, R.M.** Adubação NPK e produção de borracha seca pela seringueira (*Hevea brasiliensis*). *Scientia Agricola*, v.56, p.71-76, 1999.
98. **NACHTIGALL G.R.; ROQUE A.D.** DRIS norms for evaluating the nutritional state of apple tree. *Scientia Agricola*. Piracicaba, v.64, n.3, p.282-287, 2007.
99. **NEEDHAM, T.D.; BURGER, J.A.; ODERWALD, R.G.** Relationship between diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) optima and foliar nutrient critical levels. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.54, p.883-886, 1990.
100. **NICK, J.A.** DRIS para cafeeiros podados. (Dissertação - Mestrado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1998. 86p.
101. **NKEDI-KIZZA, P.; GASTON, L.A.; SELMI, H.M.** Extrinsic spatial variability of selected macronutrients in Sandy soil. *Geoderma*, v.63, p. 95-106, 1994.
102. **OLDEMAN, R.A.A.** 1974. L'architecture de la forêt guayanaise. Thèse de Doct. Sciences U.S. T. L. Montpellier, 245 p., 1972 et Mèmoire Orstom, 73 p
103. **ORDEN, L.; MANDOLESI, M.E., KIESSLING, R.J.; RON, M.M.** Variabilidad espacial de la fertilidad química del suelo en un diseño de bloques. *Revista Spanish Journal of Soil Science*, Madrid, España, v.1, n.1, p. 54-69.

104. **OVALLES, F.A. and M.E. COLLINS.** Variability of Northwest Florida soils by principal component analysis. Soil Science Society of America, Journal. v.52, p.1430-1435, 1988.
105. **PALENCIA, C.V.** Manual general del cultivo del Hule *Hevea brasiliensis*. Documento de graduación como licenciado, Universidad de San Carlos De Guatemala, 2000, 119 p.
106. **Parra, G.E.** Estudio de la relación fuente-vertedero en tomate de árbol (*Gyphomandra betacea*). Tesis de maestría. Facultad de Agronomía, universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 2003, pp. 5-43.
107. **PEREIRA, A.V.; PEREIRA, E.B.C.** Respostas de porta-enxertos de seringueira à calagem. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.11, p.333-336, 1987.
108. **PESSÔA DA CRUZ, M.A.; CENTURION, J.F.; GARCIA, C.; PRADO, R.; NATALE W.** Efeito do manejo da entrelinha da seringueira sobre as propriedades químicas do solo, o estado nutricional e o crescimento. Revista. Árvore, Viçosa-MG, v.29, n.2, p.185-193, 2005.
109. **PHILIPPEAU, G.** Como interpretar los resultados de un análisis en componentes principales. Institut Techniques des Cereales et des fourrages. París-France. 1990, 63 p.
110. **PICÓN, R.L; CERVANTES, O; HERNÁNDEZ, C.** Manual para el cultivo del hule en Tabasco. Gobierno del estado de Tabasco. Villa hermosa, Tabasco. 1999. 278 p.
111. **PUSHPARAJAH, E.** Nutritional Status and Fertilizer Requirements of Malaysian Soils for *Hevea brasiliensis*. Unpub. D.Sc Thesis, State University of Ghent, Belgium. 276 pp. 1977
112. **PUSHPARAJAH, E.; CHEW, P.S.** Utilization of soil and plant analyses for plantation agriculture. In: The Proceedings of the Malaysian Seminar on the Fertility and Management of Deforested Land. Society of Agricultural Scientists, Sabah, KotaKinabalu, Malaysia. 1979. 177-199p.
113. **PUSHPARAJAH, E.; TAN KIM TENG.** Factors influencing leaf nutrient levels in rubber. In: Proceedings of the R.R.I.M. Malaya Planters Conference, Kuala Lumpur 1972. Rubber Research Institute of Malaya, Kuala Lumpur, pp. 140-154,1972.
114. **RAIJ, VAN B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M.** Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico/ Fudação IAC. Bol. Téc. 100. 1997, 285p.

115. **REIS, J.R.A.** DRIS norms universality in the corn crop. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.33, n.5 y 6, p.711–735, 2002.
116. **REIS, E.L.; SANTANA, C.J.; CABALA-ROSAND, P.** Influência da calagem e adubação na produção da seringueira no sul da Bahia. *Revista Theobroma*, v.14, p.33-44, 1984.
117. **REIS, J.R.A.; MONNERA, P.H.** Norms establishment of the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) for nutritional diagnosis of sugarcane. *Pesquisa Agropecuaria. Brasileira*, v.38, n.2, p.277-282, 2003.
118. **RIBEIRO, N.G; ROQUE, A.D.** DRIS norms for evaluating the nutritional state of apple tree. *Scientia Agricola. (Piracicaba, Braz.)*, v.64, n.3, p.282-287, 2007.
119. **RITHCIE, G.S.P.** Soluble aluminum in acid soils: principals and practicalities. *Plant oil*, v.171, n.1, p.23-27, 1995.
120. **RIVAS, L.; HOYOS, P.; AMEZQUITA, E.** Manejo y uso de suelos en la altillanura Colombiana. Análisis económico de una estrategia para su conservación y mejoramiento: construcción de una capa arable. CIAT, Cali. (Colombia). 2004. 41 p.
121. **ROCHA, A.C. da.; LEANDRO, W.M.; ROCHA, A.O.; SANTANA, J. das G.; ANDRADE, J.W. de S.** Normas DRIS para cultura do milho semeado em espaçamento reduzido na região de Hidrolândia, GO, Brasil. *Bioscience Journal*, v.23, p.50-60, 2007.
122. **RODRÍGUEZ, V. y RODRÍGUEZ, O.** Normas foliares DRIS para el diagnóstico nutricional del plátano (Musa AAB subgrupo plátano cv. Hartón). *Revista. Facultad de. Agronomía universidad del Zulia, Maracaibo (Venezuela)*, v.14, p.285-296, 1997.
123. **RODRÍGUEZ, V. y RODRÍGUEZ, O.; Bravo, P.** Índice de balance de nutrientes para la predicción del rendimiento del plátano (Musa AAB subgrupo plátano cv. Hartón). *Revista. Facultad de. Agronomía universidad del Zulia, Maracaibo (Venezuela)*, v.16, p.488-489, 1999.
124. **RODRÍGUEZ, J.M.** 1978. Diagnóstico de la fertilidad del suelo. Análisis fitoquímico. Cidat, Serie Suelos y Clima, material de enseñanza SC-20. Mérida, Venezuela, 1978.
125. **RODRIGUEZ, O.; ROJAS, E.; SUMNER, M.** Valencia orange DRIS norms for Venezuela. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.28, p.1461-1468, 1997.

126. **RODRÍGUEZ, V.J.; MALAVOLTA, E.; SÁNCHEZ, A.; RODRÍGUEZ, O.; LAVORANTI, O.; GUERRA, E.** Soil and plant reference norms for evaluating horn plantain nutritional status. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.38, p.1371-1383, 2007.
127. **RODRÍGUEZ, C.L.** Estudio de factibilidad para la producción e industrialización de caucho en Quevedo. Tesis en ingeniería en agroempresas. Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador. 2009, 74p.
128. **RUBIANO, Y.** Sistema georreferenciado de indicadores de calidad del suelo. Herramienta SIG para apoyo a la planificación, uso y manejo del suelo. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Palmira, Valle, Colombia. 2005. 35p.
129. **RUÍZ, A., CAJUSTE, L.** Controlling fertilizer applications through plant analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.33, n.15-18, p.2793-2802, 2002.
130. **SÁNCHEZ, A.A.; CRUZ, J.G.; ZÉREGA, L.; RODRÍGUEZ, O.; DE OLIVEIRA, S.A., PÉREZ VIANEL, J.** Normas preliminares DRIS desarrolladas para caña de azúcar a partir de un bajo número de muestras. *Pesquisa Agropecuaria. Brasileira*, Brasília, v.44, n.12, p.1700-1706, 2009.
131. **SANZ, J.I.; MOLINA, D.L.; RIVERA, M.** El arroz se asocia con pasturas en la Altillanura colombiana. *Arroz en las Américas*, v.14, n.1, 1993.
132. **SHUH, W., M. JEGER and R. FREDERIKSEN.** The influence of soil environment of the incidence of sorghum downy mildew: a principal component analysis. *Phytopathology*. v.77, n.2, p.128-131, 1987.
133. **SCHULTES, R.E.** Wild Hevea: an untapped source of germplasm. *Journal of the Rubber Research Institute of Sri Lanka*. 54: 227-257, 1977.
134. **SECRETARIA TÉCNICA NACIONAL DE CAUCHO NATURAL Y SU INDÚSTRIA.** Comportamiento del caucho natural en Colombia y el mundo. p.1-8, 2009.
135. **SEPULVEDA, R.O.** El cultivo del caucho(*Hevea brasiliensis*). Editado por La federación nacional de cafeteros, Colombia. 1985, 35p.
136. **SHORROCKS, V.M.** Mineral nutrition, growth and nutrient cycle of cycle of *Hevea brasiliensis*. I. Growth and nutrition content. *Journal of Rubber Research Institute of Malaya, Kuala Lumpur*. v.19, p.31-47, 1965.

137. **SILVA J.T.; CARVALHO, J.G.** Avaliação nutricional de bananeira 'prata anã' (aab), sob irrigação no semi-árido do norte de minas gerais, pelo método DRIS. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.29, n.4, p.731-739, 2005
138. **SILVA, G.; NEVES, J.; ALVAREZ V.; LEITE, F.** Nutritional diagnosis for eucalypt by DRIS, M-DRIS, and CND. *Scientia Agricola*, v.61, n.5, p.507-515, 2004
139. **SILVA, G.G.C. da; NEVES, J.C.L.; ALVAREZ, V.H.; LEITE, F.P.** Assessment of the universality of DRIS, M-DRIS and CND. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, Vicosa MG, Brasil, v.29, p.755-761, 2005.
140. **SILVEIRA, C.P; NACHTIGALL, G.R; MONTEIRO, F.A.** Norms for the diagnosis and recommendation integrated system for signal grass. *Scientia Agricola* (Piracicaba, Braz.), v.62, n.6, p.513-519, 2005.
141. **STEMBERG, B.** "Soil attributes as predictors of crop production under standardized conditions," *Biology and Fertility of Soils*. v.27, p.104-112,1998.
142. **SUMNER, M.** Diagnóstico de los requerimientos de fertilización de cultivos extensivos. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, v.9, p.8-13, 2000.
143. **SUMNER, M.** The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). p. 149-188. En: *Soil & plant analysis seminar*. Council on Soil Testing and Plant Analysis, Anaheim. California. (EE.UU.), 1982.
144. **SUMNER, M.** Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v 8, n.3, p.251-268, 1977.
145. **TEIXEIRA, L.A.; ZAMBROSI, F.C.; BETTIOL NETO, J.E.** Avaliação do estado nutricional de bananeiras do subgrupo Cavendish no estado de são paulo: normas DRIS e níveis críticos de nutrientes. *Revista Brasileira Fruticulturae Jaboticabal*, v.29, n.3, p.613-620, 2007.
146. **VALENCIA, R.** Plan de investigación y desarrollo tecnológico de soya. Variedad de soya para la Altillanura colombiana. *Boletín técnico CORPOICA*. C.I. La Libertad. 2005.
147. **VALLADARES, G.S.; GOMES, E.G.; MELLO, J.C.C.B.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; EBELING, A.G.; BENITES, V.M.** Análise dos componentes principais e método multicritério ordinais no estudo de Organossolos e solos afins. *Revista Brasileira do Ciência do Solo*, v.32, p.285-296, 2008.
148. **VAOIS, A.C.C.** Cultura da seringueira Brazilian, Manual tecnico. 1980. 218 p.

149. **VENEGAS, C.** Tolerancia de los cultivos a la acidez del suelo. Frontera agrícola, v.1, n.1, 23-27, 1993.
150. **VIRGENS FILHO, A.C.** Calagem, adubação e exploração da seringueira, cultivar RRIM 600m em latossolo amarelo álico, no planalto do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba 1998. 91p.
151. **VIRGENS FILHO, A.C.; MOREIRA, A.; CAMARGO E CASTRO P.R.** Efeito da calagem e adubação da seringueira no estado nutricional e produção de borracha seca. Pesquisa agropecuária. brasileira, Brasília, v.36, n.8, p.1019-1026, 2001.
152. **WAD, P.G.S.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, H.H.; BRAGANCA, S.M.** Alternativas da aplicação do DRIS à cultura do café conilon (Coffea canephora Pierre). Scientia agrícola, piracicaba, v.56, p.83-92, 1999.
153. **WADT, P.G.S.** DRIS: Nuevos conceptos para aplicación en árboles de eucalipto. Piracicaba. v.1, p.1-15, 1999.
154. **WADT, P.G.S.** Relationships between soil class and nutritional status of coffee plantations. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Vicosa MG, Brasil, v.29, p.227-234, 2005.
155. **WADT, P.G.S.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BRAGANÇA, S.M.** Alternativas da Aplicação do DRIS à Cultura de Café Conilon (Coffea Canephora Pierre). Scientia Agrícola, Piracicaba, v.56, p.83-92, 1999.
156. **WALWORTH, J.L.; SUMNER, M.** The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). Advances in Soil Science, v.6, p.149-188, 1987.
157. **WALWORTH, J.L.; SUMNER, M.** The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). Advances in soil science, v.6, p.149-188, 1987.
158. **WALWORTH, J.L.; WOODDARD, H.J.; SUMNER, M.E.** Generation of corn tissue norms from a small, high-yield data base. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v19, p.563-577, 1988.
159. **WEBSTER, C.C.; PAARDEKOOPEL, E.C.** The Botany of the Rubber Tree in Webster, C.C. & Baulkwill, W.J. (edit.) Rubber Longman Scientific and Technical. p.5784, 1989.
160. **ZAPATA, R.D.** Química de la acidez del suelo. Universidad nacional de Medellín. 179p. 2004.