UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades
Departamento de Ingeniería Química

OPTIMIZACION DE LA RENTABILIDAD DE LA AGROINDUSTRIA DEL TE DE LIMON (Cymbopogon flexuosus) EN GUATEMALA

PEDRO EMMANUEL LEZANA QUINTEROS

Trabajo de investigación presentado para optar al grado académico de

LICENCIATURA EN INGENIERIA QUIMICA

Guatemala

1,994

OPTIMIZACION DE LA RENTABILIDAD DE LA AGROINDUSTRIA DEL TE DE LIMON (Cymbopogon flexuosus) EN GUATEMALA

Vo. Bo. :

(f) _____
Ingeniero Eduardo Calderón.
Asesor

Tribunal:

(f) _____
Licenciada Margarita Selle.

(f) _____
Ingeniero Luis Alberto Asturias.

(f) _____
Ingeniero Eduardo Calderón.

Fecha de aprobación: 27 de junio de 1994

DEDICO ESTE TRABAJO:

AL CREADOR Y LEGISLADOR DEL UNIVERSO

A MIS PADRES

A MI HERMANO.

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS Y GRAFICAS

RESUMEN

Para optimizar la rentabilidad de la agroindustria del té de limón en Guatemala, se procedió a hacer un análisis en las siguientes áreas:

- Tiempo de extracción del aceite.
- Aplicación de fertilizantes de diferentes composiciones.
- Edad de crecimiento de la planta.
- Número óptimo de cortes de la planta.

En el tiempo de extracción del aceite se realizaron extracciones hasta los sesenta minutos, mediante destilación por arrastre con vapor, tomándose el peso de aceite que se obtenía en intervalos de quince minutos. Se logró establecer que en todos los casos analizados, es decir para los cuatro tiempos de crecimiento de la planta estudiados, así como para las siete composiciones de fertilizante aplicadas; al haber transcurrido más de cuarenta y cinco minutos de extracción se había logrado obtener más del 90% de aceite esencial de la planta.

La aplicación de fertilizantes permitió un aumento considerable en el rendimiento de aceite por unidad de área sembrada y/o en el rendimiento biomásico. Si bien existieron

composiciones de fertilizantes que permitieron una mejora considerable en cuanto al rendimiento biomásico de la planta, éstas no presentaron una mejora significativa en el rendimiento por unidad de área sembrada, siendo el caso del fertilizante foliar aplicado.

Se logró establecer que de los fertilizantes aplicados, los de composición 15-15-15, 46-00-00, conocidos comunmente como triple quince y urea respectivamente, y el 18-46-00 presentaron un mejor rendimiento de aceite por unidad de área sembrada junto con un rendimiento biomásico significativamente mayor al que presentaron las parcelas control. Dicho comportamiento se ve más marcado cuando se permite que el tiempo de cosecha de la planta, es decir su tiempo de corte, alcance los sesenta y setenticinco dias, a partir del día en que se realizara el corte.

Según el análisis cromatográfico realizado a las muestras de aceite obtenidas para los diferentes intervalos de tiempo de extracción, existió tendencia a mayor concentración de citral en el intervalo de tiempo de 16 a 45 minutos; asimismo las muestras de aceite obtenidas de parcelas tratadas con diferente composición de fertilizante tendieron a una mayor concentración de citral que las de la parcela control. En estas muestras la tendencia que se observa claramente es que, de las composiciones de fertilizantes mecionadas anteriormente, únicamente el triple quince presenta para los

sesenta y setenta y cinco días de crecimiento de la planta, una concentración de citral con intervalos de confianza mayores al 75% (v/v). Un 75% (v/v) es la concentración mínima requerida para poder comercializar en el mercado internacional el aceite de té de limón.

Por último, al hacer un análisis económico, se estableció que cultivar la planta y hacer cortes cada sesenta días, empleando fertilizante triple quince o urea (15-15-15 ó 46-00-00, respectivamente), permite realizar 3 cortes durante el año produciendo esto un máximo de utilidad neta de la plantación de té de limón.

Es de hacer notar que si se carece de un sistema de riego, el crecimiento de la planta se ve mermado debido a la falta de humedad durante la época no lluviosa; siendo común la carencia de sistemas de riego las plantaciones de té de limón solamente se trabajan durante la época lluviosa.

I. INTRODUCCION

La agroindustria de producción de aceites esenciales ha sufrido, desde sus orígenes, grandes cambios y recibido valiosas contibuciones en el campo de la fertilización, cultivo y extracción. Aún así, queda mucho campo por investigar debido a la gran variedad de aceites esenciales que existe, los cuales presentan diferentes comportamientos en lo referente a rendimiento y composición, dependiendo de la planta de que se trate y de los métodos de fertilización, cultivo y extracción que se utilicen para la producción de los mismos.

Actualmente, el aceite esencial de té de limón (Cymbopogon flexuosus) es uno de los aceites esenciales de mayor producción en Guatemala y que a nivel internacional presenta gran demanda. Desafortunadamente, la literatura existente sobre el cultivo de té de limón en Guatemala es escasa y bastante vaga, limitándose a un historial de este cultivo en nuestro país y a unos experimentos que en los años sesenta realizara la ASOCIACION DE PRODUCTORES DE ACEITES ESENCIALES (APAE), sobre la influencia que pudiera tener la fertilización en el crecimiento de la planta y la cantidad de aceite producido. Los resultados fueron publicados por la Oficina de Investigación Técnica de APAE, en su reporte

"Experimentos e Investigaciones, Resultados Analíticos", desde 1965 hasta 1970. A pesar de esto, dichos resultados no fueron del conocimiento de todos los productores, quedándose esto prácticamente en el olvido.

Teniendo esto en mente y con el objetivo de tecnificar la agroindustria del té de limón para lograr optimizar su rentabilidad, el presente trabajo analizó las variaciones que puedan existir en el rendimiento y calidad del aceite, originadas por modificaciones en el tiempo de corte de la planta, tiempo de extracción del aceite y la composición de fertilizante aplicado a la plantación. Asimismo, se realizó un estudio económico que permite determinar el número de cortes anuales que, combinado con los parámetros anteriores, logra alcanzar la rentabilidad máxima en la agroindustria del té de limón.

II. ANTECEDENTES

A. Descripción botánica del zacate de té de limón

Espigas en pares en cada nodo del tallo, racimos apareados; los pares inferiores de racimos son muy similares, estériles, sin aristas, y similares a las espigas pediceladas superiores; espigas fértiles sésiles dorsalmente comprimidas; el primer gluma es plano o acanalado, tiene dos quillas finas, lemana fértil delgada, con aristas del centro hasta los lóbulos, algunas veces sin aristas. Perenne y densamente unidos, rara vez florecen en los trópicos de América; crece en grandes manojos provenientes de pequeños rizomas, comunmente de uno o dos metros de altura.

B. Aceite esencial de té de limón

El aceite esencial de té de limón es un aceite esencial importante en el mundo. Grandes cantidades son utilizadas para la extracción de citral, el constituyente principal de este aceite. El citral es la materia prima principal para la preparación de una serie de aromatizantes, de uso frecuente en desodorantes ambientales, compuestos para jabonería, etc; con un fuerte olor cítrico, siendo también utilizado en la manufactura de vitamina A.

Debido a su alto contenido de citral (75 - 85%, v/v) el

aceite posee un fuerte olor a limón, de aquí deriva su nombre de aceite de té de limón. (2)

El mercado internacional distingue entre dos tipos principales de aceite de té de limón, el **East Indian** y el llamado aceite **West Indian,** ambas provenientes de plantas del género Cymbopogon de las gramineas. Por muchos años existió mucha confusión acerca de la taxonomía de las plantas que producían cada uno de los dos tipos de aceite; sin embargo, El Dr. Stapf (quien ha hecho investigaciones sobre estas clasificaciones y las ha publicado en el **Kew Bulletin** del **Bureau of Plants Industry**) (2) terminó con esta larga controversia identificando cada uno de los dos tipos de planta de la manera siguiente:

Fuente del aceite tipo **East Indian**..... Cymbopogon flexuosus
Fuente del aceite tipo **West Indian**..... Cymbopogon citratus
(2)

El aceite extraído del Cymbopogon flexuosus presenta una concentración de citral de por lo menos 75 % (v/v); y el aceite extraído del Cymbopogon citratus generalmete presenta concentraciones de citral de 49 a 55 % (v/v), y en algunos casos especiales hasta un 70 % (v/v). (2)

C. Aceite de té de limón en Guatemala

La agroindustria del aceite esencial de té de limón en

Guatemala debe su origen al Sr. Julio Samayoa, quien lo introdujo durante la Primera Guerra Mundial, a nivel experimental en la zona de Escuintla, Suchitepéquez y Retalhuleu. Posteriormente dichas plantaciones fueron dirigidas por el Sr. René Keilhauer y su hijo, quienes lograron su mejor desarrollo durante la Segunda Guerra Mundial, cuando aumentaron las dificultades de envío del aceite proveniente de las Indias del Este a Estados Unidos de Norteamérica.

1. Regiones Productoras. Al comienzo de la industria aceitera en Guatemala, la planta fuente de aceite de té de limón cultivada era la Cymbopogon citratus. En la década de los sesentas, **APAE** realizó estudios e introdujo en Guatemala la especie Cymbopogon FLEXUOSUS (1), principalmente en la zona de Retalhuleu y Suchitepéquez, que en la actualidad es la especie mayormente cultivada en nuestro pais.

En Guatemala, el aceite de té de limón es producido en la región costera del Pacífico, en los departamentos de Retalhuleu, Suchitepéquez y Escuintla.

2. Clima, tipo de tierra y altitudes de cultivo. Las plantaciones de té de limón se encuentran en altitudes entre los cien y los mil doscientos metros (100 m y 1,200 m) sobre el nivel del mar. La planta requiere climas tropicales, abundante cantidad de sol y lluvias intermitentes

6

pero no excesivas para su desarrollo. En general, la planta presenta su mejor desarrollo en suelos franco arenosos bien drenados, aunque en suelos de cualquier otro tipo también presentan un buen desarrollo; los suelos arcillosos y que originan la formación de posas de agua estancada son los peores para este cultivo. Comúnmente en Guatemala, los campos de cultivo de esta planta no son regados ni fertilizados debido al alto costo que esto implica. (3)

D. Rendimiento de aceite y composición

De acuerdo a la literatura, el porcentaje de rendimiento de aceite que presenta una planta de Té de Limón varía entre 0.3 y 0.8 % (p/p), dependiendo de la estación en que se encuentre, ya sea lluviosa o seca.

La composición cualitativa del aceite de Té de Limón de la especie Cymbopogon FLEXUOSUS, presenta los siguientes componentes:

- Allo-Ocimeno
- -Cadineno
- Farnesal
- Fenchone
- Decanal
- Citronelal, en concentración máxima de 1%
- Acetato de Geranilo
- Citral: Con sus dos isomreros neral y geranial.
- Borneol
- Cariophilleno
- Farnesol
- -Cimeno
- Geraniol
- Germacreno D

- Limoneno
- ß-metil hept-5-en-2-ona
- Mirceno
- Nerol
- Terpinen-4-ol
- α-terpineol
- α-Terpineno
- Linalool
- Metil heptanona
- Nerolidol
- Ocimeno
- ß-terpineol
- α-Acetato de terpenilo
- Terpinoleno.

(3)

E. Extracción de aceites esenciales

1. Destilación. El método más ampliamente utilizado para el aislamiento y purificación de compuestos es la **destilación.** Son conocidos tres tipos distintos de destilacion: destilación simple, destilación por arrastre con vapor y destilación fraccionada. Una destilación simple separa un líquido volátil de uno no volátil. La destilación fraccionada es utilizada para la separación de líquidos volátiles miscibles.

a. Destilación por arrastre con vapor. La técnica de destilación que involucra la codestilación de una mezcla de agua y un compuesto orgánico volátil, el cual no es miscible con agua, se conoce como **destilación por arrastre con vapor.** (6)

8

Una ventaja de esta técnica, particularmente para compuestos que se descomponen cerca de o en su punto de ebullición, es que las temperaturas de destilación son menores a los 100 °C.

Un compuesto orgánico volátil en el proceso de destilación por arrastre con vapor es aquel que presenta una presión de vapor mínima a los 100 °C. Generalmente, una presión de vapor mayor a 10 Torr a los 100 °C para el compuesto volátil, asegura una efectiva destilación por arrastre con vapor. Un compuesto no volátil presenta usualmente una presión de vapor que es al menos un orden de magnitud menor que aquella del compuesto volátil. (6)

b. Extracción de compuestos volatiles orgánicos de fuentes naturales. Los componentes volátiles de las plantas constituyen una enorme riqueza de compuestos orgánicos que se utilizan para la industria farmacéutica, como ingredientes de perfumería, preservantes, saborizantes y muchos más usos. (6)

Los componentes volátiles de las plantas son comúmente extraídos mediante destilación por arrastre con vapor a presión atmosférica. La planta es finamente cortada con el objeto de facilitar la salida del componente o componentes de interés, de la estructura celular de la planta. El vapor es introducido dentro del recipiente que contiene a la planta, lo cual origina que se obtenga una codestilación de agua y el

componente orgánico. (7) La mezcla de compuestos orgánicos que se obtiene y que son inmiscibles con agua se conoce como **aceite esencial.**

c. Optimización de la extracción de aceite esencial de té de limón. A lo largo de la existencia de la agroindustria del té de limón en Guatemala, el método comúnmente utilizado para extraer el aceite esencial de la planta ha sido el de "Destilación por arrastre con vapor". En los beneficios existentes en Guatemala, comúnmente se ha permitido un tiempo de cocimiento o extracción que varía en un rango de 75 a 90 minutos. (7)

Para la optimización del tiempo de extracción es necesario establecer el tiempo necesario para extraer la mayor cantidad de aceite posible, manteniendo los costos de extracción lo más bajo posible. El rango de tiempo anteriormente mencionado logra extraer el aceite esencial del té de limón casi en su totalidad, pero a un costo bastante elevado. (8)

Los beneficios de extracción reportan que permitiendo un tiempo de extracción de 90 minutos se logra extraer hasta un 10% más de aceite del que se estrae a los 60 minutos; pero al realizar un análisis del proceso, dicho 10% extra de aceite viene a aumentar el costo de extracción casi en un 30%. Este aumento se da debido a que la relación de aceite extraído por

unidad de tiempo de extracción disminuye a partir de los 60 minutos de extracción. (8)

Además hay que observar que dichos 30 minutos extra de cocimiento por lote, disminuye el número de lotes procesables en el día, reduciéndose así la productividad del beneficio. Por ejemplo, en un turno de trabajo de 8 horas, cociendo 90 minutos (1.5 horas) se logran procesar 5 lotes, mientras que con 60 minutos se procesan 8 lotes, lo que convertido a Kg de aceite representarían 138.5 Kg de aceite/día y 200 Kg de aciete/día, respectivamente. Se ve entonces que aunque pueda estarse perdiendo entre un 5 y 10% de aceite esencial, esto se ve grandemente compensado en un ahorro de aproximadamente 30% del costo de extracción al disminuir el tiempo de proceso del lote de 90 a 60 minutos. En otras palabras, la cantidad de aceite que se obtiene en los 30 minutos extras no cubre el costo de extracción que este conlleva. (8)

F. Experimentación para la mejora del cultivo de té de limón en Guatemala

Desde el año 1965 hasta el año 1970, APAE realizó varios experimentos con el fin de analizar el efecto de la aplicación de fertilizantes y micronutrientes sobre la producción de aceite y longevidad de la plata de té de limón. (1)

En 1965, la experimentación fue efectuada en la estación de Chipó, población situada en el departamento de

Suchitepéquez; en una plantación sembrada en octubre de 1964. La aplicación de los fertilizantes se efectuó en diciembre del mismo año y los cortes en los siguientes meses: abril, julio y octubre de 1965. (1)

El diseño experimental fue el de parcelas al azar con cuatro frecuencias y ocho tratamientos, así: N, P, K, NP, NK, PK, NPK, testigo. Al hacer los análisis estadísticos respectivos se encontró que el aumento de zacate y aceite por manzana no fue significativo hasta octubre de 1965. (1)

De igual manera se realizó una experimentación en la cual se aplicaron fertilizantes que contenían micronutrientes (boro, zinc, manganeso y cobre), ya que estos intervenen en muchos procesos vitales en las plantas, en forma de enzimas o catalizadores de algún proceso bioquímico. Es muy probable que uno u otro tengan importancia en la producción del aceite esencial. Según los etudios realizados por APAE en el año 1965, parecen tener influencia favorable sobre la producción del aceite esenciales, en primer lugar el manganeso en todas las diferentes concentraciones aplicadas, seguido por el boro y luego el cinc. (1)

En 1966 APAE procedió a efectuar nuevos ensayos con algunas modificaciones. Los tratamientos fueron los siguientes: Testigo, NPK, NPK + Cu, NPK + B, NPK + Zn, NPK + Mg, NPK + Fe y NPK + Cu, B, Zn, Mg, y Fe. Las aplicaciones se hicieron en el mes de octubre de 1966 en plantaciones adultas

en la Estación No. 2 Chipó. En el primer corte, hecho 15 días después de la apliación no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. El segundo corte, efectuado dos meses y medio después del primero, no dio resultados favorables.

Un proyecto conjunto fue llevado a cabo entre **APAE** y la Compañía **ESSO Central América**, en el año 1967, con la finalidad de analizar el efecto de la fertilización con diferentes tipos de abonos en las plantaciónes de té de limón en suelos pesados como los existentes en Retalhuleu. Las principales conclusiones obtenidas fueron: (1)

1. El tratamiento consistente en aplicar 75 kilogramos de nitrógeno por hectárea, 200 kilogramos de fósforo y 25 kilogramos de potasio; fue el que presentó mejor rendimiento en cuanto a cantidad de biomasa producida.
2. Ningún tratamiento produjo significativamente más aceite que el testigo, en terminos de rendimiento biomásico.

APAE realizó en 1968, experimentos para determinar posibles efectos de la fertilización foliar en el té de limón. Para esto se seleccionó una parcela de reciente siembra en la Estación No. 2 de Chipó. Las aplicaciones se hicieron a los 30, 90 y 150 días de siembra. La primera aplicación se llevó a cabo el 15 de junio, la segunda el 15 de agosto y la tercera el 15 de octubre. El primer corte se hizo en los primeros días de noviembre. Un recuento de ahijamiento fue efectuado

en julio, a casi un mes de la primera aplicación y los resultados indican que ningún fertilizante foliar de los utilizados produjo más ahijamiento que el testigo, bajo las condiciones de experimentación. (1)

Como resultado de esta experimentación fue encontrado un leve aumento al aplicar los fertilizantes FERTIFOL 20-05-05 y V.H.P.F., pero no en forma significativa. Respecto de la producción de aceite, el FERTIFOL 20-05-05 mostró cierta superioridad sobre los demás, en el primer corte.(1)

Por último en 1970, se realizaron experimentos similares para el té de limón, con la fórmula de fertilizante granulado 15-15-06-25-04. La aplicación se realizó en noviembre y los cortes se llevaron a cabo en febrero, mayo y julio del año siguiente. Los resultados obtenidos para dicho experimento no pueden ser comparados estadísticamente, ya que las condiciones de cultivo no fueron iguales para los tres tiempos de corte. (1)

G. Recomendaciones para la fertilización del té de limón

El té de limón es un cultivo que agota los suelos, ya que debido al gran desarrollo del follaje que presenta, necesita de mayor cantidad de nutrientes, los cuales toma directamente del suelo. Se recomienda la utilización de bagazo de la misma planta, luego de haber extraído el aceite esencial, dejándolo en forma de compost a razón de 10 toneladas por hectárea y

ceniza de madera a razón de 2 toneladas por hectárea. Lo anterior suple suficiente cantidad de nitrógeno y potasio, los cuales son los nutrientes principales de crecimiento en la planta. La utilización de fertilizantes artificiales también presenta buenos resultados. Se recomienda aplicar fósforo en un nivel euqivalente a treinta kilogramos (30 Kg) de óxido fosfórico (P_2O_5), potasio en un nivel equivalente a treinta kilogramos (30 Kg) de óxido de potasio (K_2O) y nitrógeno en un nivel equivalente a treinta kilogramos (30 Kg) de urea (46-00-00) por hectárea, como una dosis inicial al momento de comenzar el cultivo. (3)

H. Control de calidad de aceites esenciales

El objetivo de un control de calidad de aceite esencial consiste en establecer si este presenta propiedades fisicoquímicas y organolépticas que cumplan con los parámetros estableceidos para dicho aceite esencial. Estos parámetros están establecidos comúnmente por los productores y consumidores de dicho aceite, en común acuerdo; o bien por instituciones internacionales tales como: **British Standards (BS), the Indian Standards (IS), The German DIN Standards, The French AFNOR Standards, the Essential Oils Association (EOA), U.S. Standards y la International Standards Organisation (ISO),** entre las más importantes. El método de control de calidad debe ser capaz de identificar si cualquier

adulteración o sustitución sucede dentro del producto. Aún así, si el aroma o el sabor son insatisfactorios para el comprador, este puede rechazar el aceite. De aquí se desprende el hecho que el analista o catador del aceite debe tener la sensibilidad y selectividad necesarias, sentidos del olfato y gusto para poder evaluar sensorialmente la calidad de los aceites.

Los parámetros a cumplir por el aceite esencial, comúnmente involucran características físicas (índice de refracción, gravedad específica, rotación óptica, rotación específica, residuos no volátiles, solubilidad en alcohol etílico) y características químicas (valor de acidez, concenctración de ésteres después de acetilación, concentración total de aldehídos y quetonas y contenido de fenol); sin embargo hay que tomar en cuenta que dichos parámetros no dan una indicación de la calidad del aceite esencial, es únicamente mediante su unión con una evaluación sensorial lo que permite obtener un control total de la calidad del aceite esencial. (3)

1. Control de calidad para el aceite esencial de té de limón, Cymbopogon flexuosus. Como se mencionó anteriormente, el componente principal del aceite esencial de té de limón (Cymbopogon flexuosus) es el citral, el cual es un aldehído. El mercado internacional exige que el aceite contenga citral en por lo menos un 75% (v/v), para

considerar la calidad del aceite como aceptable; entre mayor sea la concentración de citral, mayor será la calidad del aceite, ya que es el componente puro más buscado en el aceite esencial de té de limón.

Internacionalmente, los analistas han establecido varios métodos para cuantificar el citral en el aceite de té de limón; el método volumétrico más utilizado es indirecto y consiste en la determinación de aldehídos totales mediante bisulfito de sodio, según la Association of Official Analytical Chemistry of the U.S. (4).

Otra metodología empleada para el control de calidad de aceites esenciales, y que permite la determinación de componentes individuales como el citral es la cromatografía de gases. Esta metodología es un arma análitica poderosa en el estudio de materiales volátiles, su utilización ha sido extendida en el campo de los aceites esenciales debido a la facilidad con que éstos se volatilizan. (3)

Internacionalmente, los consumidores de aceites esenciales han introducido la cromatografía de gases debido a dos factores principales: a) la rapidez con que se logra obtener las concentraciones de cada uno de los componentes de interés del aceite esencial, y b) la selectividad que presenta la cromatografía para la determinación de concentración de un componente, en este caso la del citral. (3) Ejemplo de la selectividad de la cromatografía se muestra en el artículo

Application of Gas-Liquid Chromatography to the Analysis of Essential Oils, Part II (5), en el cual se analiza la concentración del componente 1,8-Cineole, en aceites de cardamomo, rosemary y lavanda. Lo importante, como lo hace ver el artículo, es establecer las condiciones óptimas de operación con las cuales se obtiene la resolución deseada del pico que corresponde al compuesto deseado.

La utilización de la cromatografía gaseosa no ha desplazado al método de bisulfito de sodio (4), sino ha venido a responder a las necesidades de los productores y consumidores de poder establecer aspectos más específicos de comosición de los aceites esenciales de una manera rápida y altamente confiable. El método de bisulfito de sodio se sigue utilizando para determinar la concentración de aldehídos totales en el aceite de té de limón, pero como un doble control para establecer la concentración de citral.

III. JUSTIFICACION

En la actualidad el cultivo de té de limón ha logrado en Guatemala un lugar importante como fuente de divisas para el país, incluso a nivel internacional Guatemala es uno de los principales productores y exportadores de dicho aceite esencial.

Desafortunadamente durante los últimos años, productos sintéticos, es decir no naturales, han tendido a sustituir a los aceite esenciales incluyendo al té de limón, debido a su menor costo. Sin embargo, los productos sintéticos pueden presentar características fisicoquímicas muy similares a las de los aceites esenciales naturales, pero no presentan a cabalidad las propiedades organolépticas de los productos naturales; siendo la principal razón de su utilización el bajo costo que presenta. Lo anterior obliga a la mejora y optimización de las técnicas de cultivo y extracción, lo que permitirá un mejor rendimiento, la disminución de los costos de operación y por ende la optimización de la rentabilidad del producto, obteniéndose así precios competitivos en el mercado internacional.

Esta tecnificación también permitirá poder ofrecer a los consumidores, a precios accesibles, un producto cien por ciento natural, lo cual va con las tendencias modernas de

utilización de productos biodegradables para el cuidado del medio ambiente.

Por lo anterior, este trabajo busca optimizar la agroindustria del té de limón en Guatemala

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo General:

Optimizar la rentabilidad de la agroindustria del té de limón estudiando los siguientes parámetros

- Tiempo de extracción del aceite esencial.
- Composición del fertilizante a utilizar.
- Edad de corte de la planta.

B. Objetivos específicos

1. Determinar el tiempo óptimo de extracción del aceite esencial, qué composición de fertilizante y qué edad de crecimiento de la planta permiten un mayor rendimiento de aceite, expresado en kilogramos de aceite por hectárea.

2. Para las composiciones de fertilizantes y edades de la planta que presentan mayor rendimiento de aceite, determinar si durante el tiempo de extracción óptimo existe algún intervalo que dé lugar a una mayor concentración de citral en el aceite extraído.

3. Con base en los tratamientos de fertilización y a las edades de la planta que presente mayor rendimiento por unidad de área cultivada, establecer el número de cortes anuales a realizar y que permitan la rentabilidad máxima en la agroindustria del té de limón.

V. PROBLEMA A RESOLVER

Establecer cuál es o cuáles son las mejores combinaciónes de composición de fertilizante, edad de corte de la planta, tiempo de extracción del aceite esencial y número de cortes anuales, para la optimización de la rentabilidad de la agroindustria del té de limón en Guatemala.

VI. TRABAJO EXPERIMENTAL

A. Descripción del área

- Finca: San José Maricón.
- Localización: Kilómetro 170, Carretera a Retalhuleu, municipio de Santa Cruz Muluá, departamento de Retalhuleu.
- Elevación S.N.M.: 240 m (780 pie)
- Temperatura media anual: 32 °C

B. Características del suelo

1. Características Físicas:

- Textura: Franco - arcilloso
- Estructura: granular.

2. Características Químicas:

-	Concentración de nitrógeno:	6.11 mg/Kg
-	" de fósforo:	5.00 mg/Kg
-	" de potasio:	17.68 mg/Kg
-	pH	6.1
-	Concentración mat. orgánica:	6.6 % (p/p)

C. Selección de la parcela

La parcela a utilizar para la siembra del té de limón

debe ser representativa de los terrenos de cultivo de las plantaciones en la región de la costa sur de Guatemala, específicamente en la zona de Retalhuleu.

La parcela fue seleccionada en los terrenos de cultivo de té de limón que se encuentran dentro de la finca mencionada, con un área total de 7,000 m^2, dividiéndose en 8 secciones de 875 m^2, y cada una de éstas se dividió en 4 parcelas de 218.75 m^2.

D. Composición de fertilizantes a utilizar

Las composiciones de fertilizantes utilizadas fueron las siguientes:

		%UREA	$\%P_2O_5$	$\%K_2O$	%MgO	$\%B_2O_3$	%S	
1.	Fertilizante	15	- 15	- 15				(triple quince)
2.	"	46	- 00	- 00				(urea)
3.	"	26	- 00	- 26				
4.	"	18	- 46	- 00				
5.	"	18	- 06	- 12	- 4	-1.2-	12	
6.	"	00	- 00	- 60				
7.	"	FOLIAR (Cosechamas)						

N	=	9	%	(p/v)	Ca	=	0.2	ppm
P_2O_5	=	6	%	"	B	=	0.2	"
K_2O	=	6	%	"	Cu	=	0.1	"
S	=	1.5	ppm		Fe	=	0.4	"
Mg	=	0.5	"		Mn	=	0.9	"
Mo	=	0.03	"		Co	=	0.02	"

8. Sin fertilizante, **TESTIGO**

Los primeros 6 fertilizantes fueron aplicados en cantidad equivalente a 194 Kg/Ha, mientras que el fertilizante foliar se aplicó 2 veces, con intervalos de 15 días y con concentración equivalente a 4.5 l/Ha.

E. Fechas de corte

El trabajo experimental fue realizado a lo largo de la época no lluviosa de 1993, específicamente del 26 de enero al 11 de abril.

Las fechas de corte fueron:

Día cero (comienzo conteo dias de corte)	26/enero/93
Fecha de corte a 30 días de crecimiento	25/febrero/93
" " " " 45 " " "	12/marzo/93
" " " " 60 " " "	27/marzo/93
" " " " 75 " " "	11/abril/93

Cada una de las secciones de la parcela, con tratamiento de fertilización diferente, se dividió en cuatro subparcelas más pequeñas para poder hacer cosechas a tiempos diferentes de crecimiento de la planta, en las fechas mencionadas con anterioridad.

F. Manejo del cultivo

Para asemejar lo más posible las condiciones del trabajo experimental a las condiciones reales de cultivo de plantación, se realizaron riegos a la parcela experimental a partir del 23 de enero de 1993. El intervalo de tiempo al cual se realizaron los riegos fueron de 15 días, tomando como fecha de inicio la fecha mencionada anteriormente, durante los 75 días que duró el experimento.

La aplicación de los fertilizantes fue en forma localizada, al pie de cada planta.

El 25 de enero de 1993 se realizó una única aplicación de herbicida, con dosificación:

dosis/Ha/54 gl: 1.4 Kg de Gesapax
1.5 l de 2,4-D
125. cc de adherente

La aplicación de estos herbicidas buscó la eliminación de de malezas de hoja angosta (Gesapax), así como las malezas de hoja ancha (2,4-D).

G. Distribución de tratamientos

R1 = 15-15-15
R2 = TESTIGO
R3 = 46-00-00
R4 = 00-00-60
R5 = 26-00-26
R6 = FOLIAR
R7 = 18-06-12-4-1.2-12
R8 = 18-46-00

	TRATAMIENTOS							
DIAS CORTE	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
30	01	08	10	15	17	24	26	31
45	03	05	12	14	19	21	28	30
60	02	07	09	16	18	23	25	32
75	04	06	11	13	20	22	27	29

H. Equipo y extracción a nivel de planta piloto para destilación por arrastre con vapor

El equipo utilizado es similar, en cuanto a diseño, al usado a nivel industrial en el beneficio. Este consiste en un contenedor cilíndrico (CHUNCHE), construido de lámina de hierro galvanizado de 3 mm (1/8 de pulgada) de espesor y con capacidad para 45 Kg. Los chunches que se encuentran en el

beneficio de la finca tienen capacidad para 1,818.18 Kg.

Se utilizó también un condensador (intercambiador de calor) del tipo de concha y tubo, enfriado por agua. Para la separación del aceite se empleó un decantador o "VASO FLORENTINO", también construido de lámina de hierro galvanizado.

La generación de vapor a una presión de 275.8 KPa (40 psi) se realizó con una caldera de 150 Hp, York Shipley, la cual utiliza leña como combustible sólido. Esta misma caldera es la que se utiliza a nivel industrial.

La extracción del aceite se realizó mediante destilación por arrastre con vapor. A lo largo de la extracción se tomó el peso de aceite extraído a intervalos de 15 minutos, desde 0 hasta 60 minutos de extracción.

I. Determinación de rendimiento/masa expresado en porcentaje (p/p)

$$\text{RENDIMIENTO BIOMASICO} = \frac{\text{Kg aceite extraído}}{\text{Kg zacate}_{\text{(base seca)}}} * 100$$

J. Determinación de rendimiento de aceite por unidad de área cultivada

$$\text{RENDIMIENTO} = \frac{\text{Kg aceite extraído}}{\text{Hectárea cultivada}} * 100$$

K. Propagación de error

SUMAS Y RESTAS

$A \pm S_A \quad \pm \quad B \pm S_B$

$A \pm B = C \qquad S_C = \sqrt{((S_A)^2 + (S_B)^2)}$

Donde S_A, S_B, S_C, son las incertidumbres correspondientes.

PRODUCTOS Y COCIENTES

$A \pm S_A \qquad B \pm S_B$

$A * B = C$ ó $A * 1/B = C$

$S_C = C * \sqrt{((S_A/A)^2 + (S_B/B)^2)}$

Donde S_A, S_B, S_C, son las incertidumbres correspondientes.

Estas fórmulas fueron utilizadas para la obtención de las incertidumbres del análisis económico realizado, el cual se encuentra en el apéndice C.

L. Análisis cromatográfico de muestras de aceite esencial

La calidad del aceite de té de limón es medida con base en la concentración de citral, expresado en porcentaje (v/v).

1. Equipo utilizado en el análisis

- Cromatógrafo Perkin Elmer, Sigma 2B
- Columna Supelco tipo SP - 2100 al 10% sobre 80/100 Supelcoport de 6' * 1/8"
- Integrador Varian 80286
- Detector de ionización de llama, FID

2. Condiciones de operación del cromatógrafo

a. Temperaturas

- Detector: 250 °C
- Columna: Temp. inicial 160 °C
  Temp. final 190 °C
  Razon de aumento 20 °C/min
  Tiempo final 2.5 min
- Inyector: 235 °C
- Tiempo final: 2.5 min

b. Gas acarreador

Nitrógeno (N_2), con presión inicial de 12 psi.

c. Volumen inyectado de muestra

de 1.9 a 2.1 microlitro (μl)

3. Método utilizado para la determinación de la concentración de citral

- Método: Curva de calibración, con patrón de Citral a concentraciones de 3.5 a 5.0 % (v/v) de patrón de citral en solución de citral y eter dietílico.

- Patrón: Citral al 95% de pureza, isomeros cis y trans, marca Aldrich.

- Dilución de muestras: 0.5 ± 0.01 ml de muestra, aforado con éter dietílico a 10 ± 0.1 ml

- Dado que se analizó el compuesto (citral) como un todo, y no cada isómero por separado, no fue necesario obtener una resolución que presentara los picos de ambos isómeros en forma separada.

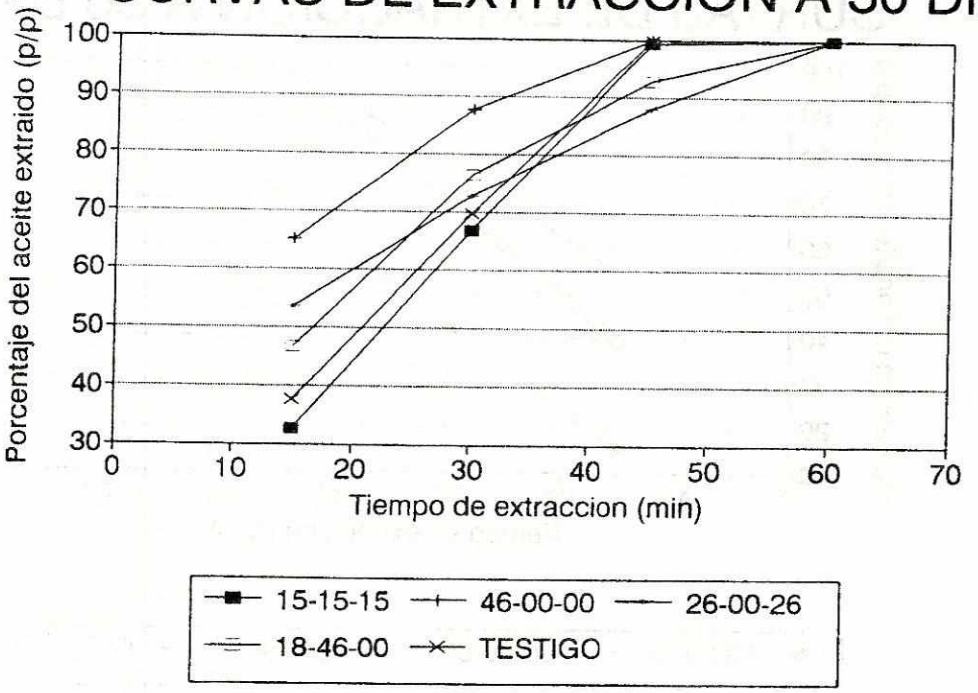
- El sistema procesador de datos fue programado

para que trabajara con las áreas de los picos coorespondientes a cada componente, en términos absolutos.

VII. RESULTADOS

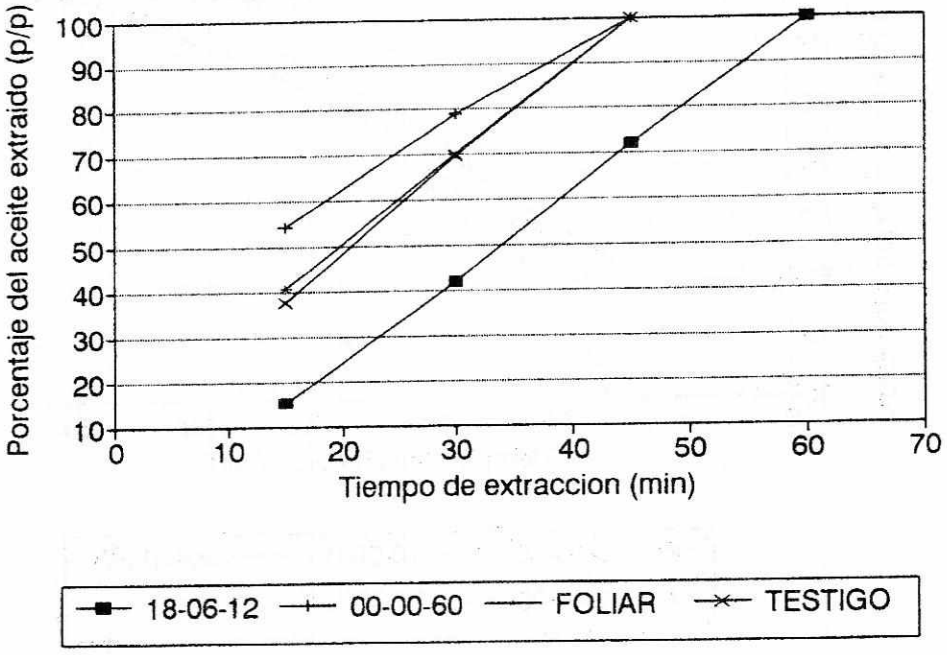
GRAFICA No. 1

CURVAS DE EXTRACCION A 30 DIAS



GRAFICA No. 2

CURVAS DE EXTRACCION A 30 DIAS



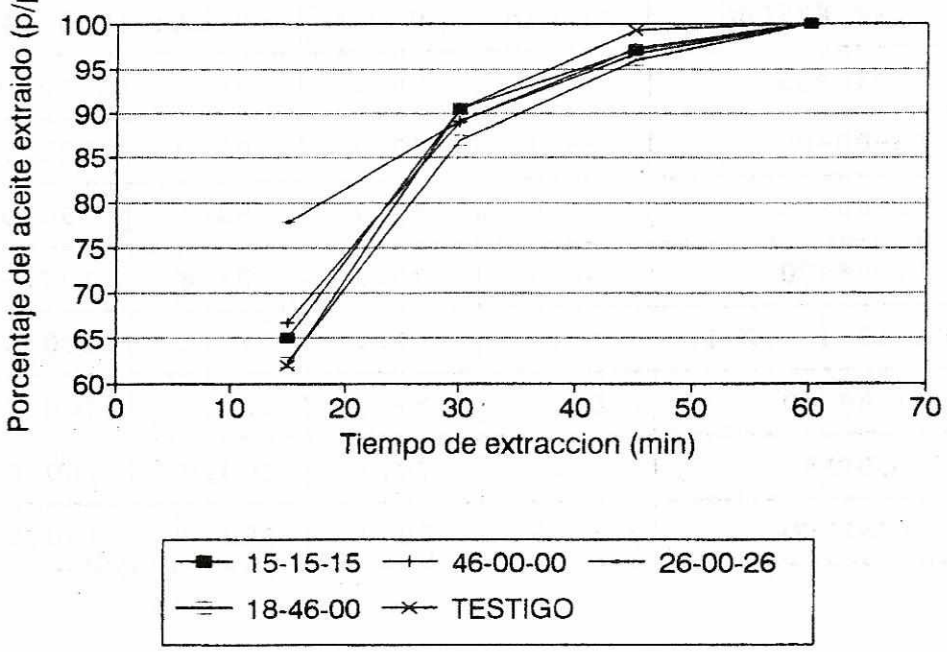
PORCENTAJE DEL ACEITE EXTRAIDO EN FUNCION DEL TIEMPO DE EXTRACCION, A LOS 30 DIAS, PARA DIFERENTES TRATAMIENTOS DE FERTILIZACION. (%(P/P))

TABLA No. 1

FERT.\t EXTRAC.	15 min	30 min	45 min	60 min
15-15-15	32.6	66.9	99.3	100.0
46-00-00	65.1	87.8	100.0	100.0
26-00-26	53.6	72.9	88.1	100.0
18-46-00	46.7	76.5	92.8	100.0
18-06-12-4-1.2-12	15.3	41.9	72.2	100.0
00-00-60	54.4	79.0	100.0	100.0
FOLIAR	40.7	70.1	100.0	100.0
TESTIGO	37.6	69.7	100.0	100.0

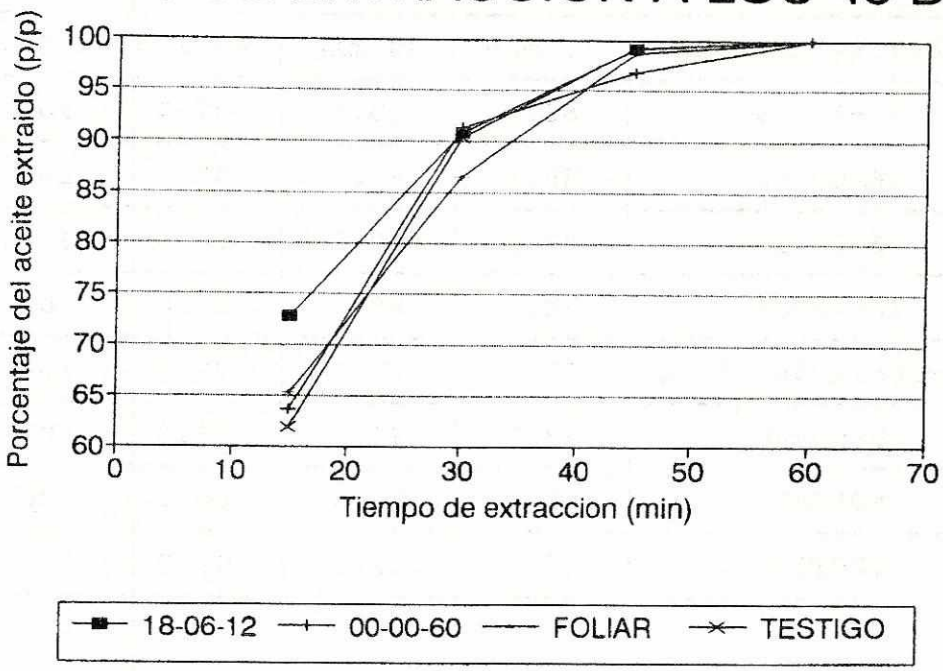
GRAFICA No. 3

CURVAS DE EXTRACCION A LOS 45 DIAS



GRAFICA No. 4

CURVAS DE EXTRACCION A LOS 45 DIAS



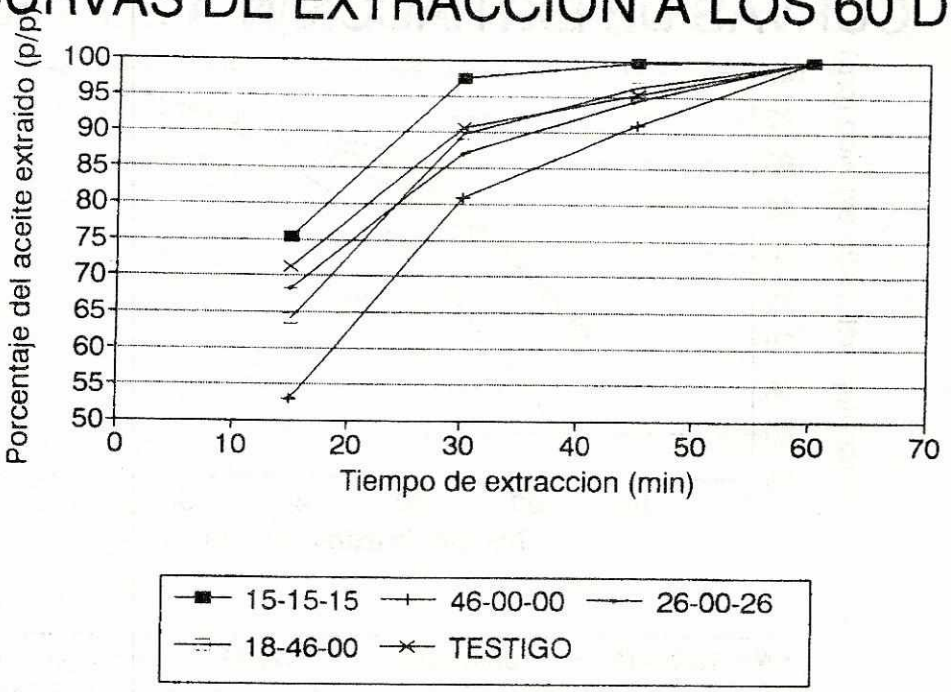
PORCENTAJE DEL ACEITE EXTRAIDO EN FUNCION DEL TIEMPO DE EXTRACCION, A LOS 45 DIAS, PARA DIFERENTES TRATAMIENTOS DE FERTILIZACION. (%(P/P))

TABLA No. 2

FERT.\t EXTRAC.	15 min	30 min	45 min	60 min
15-15-15	65.1	90.5	97.1	100.0
46-00-00	66.8	89.0	97.2	100.0
26-00-26	77.8	89.2	96.6	100.0
18-46-00	62.3	86.9	96.0	100.0
18-06-12-4-1.2-12	72.9	90.9	99.1	100.0
00-00-60	63.7	91.4	96.8	100.0
FOLIAR	65.3	86.6	98.7	100.0
TESTIGO	62.0	90.4	99.2	100.0

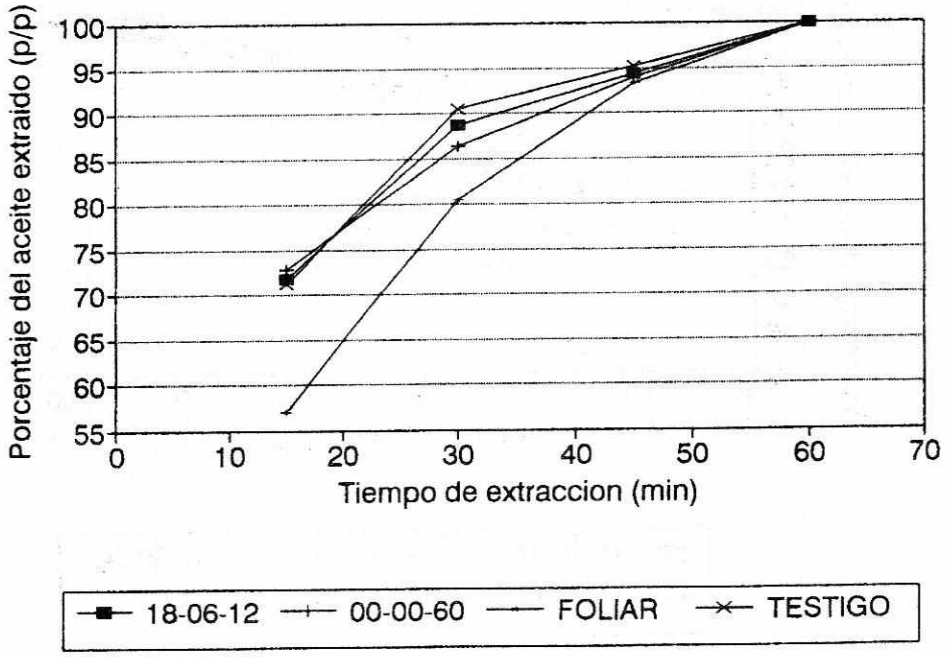
GRAFICA No. 5

CURVAS DE EXTRACCION A LOS 60 DIAS



GRAFICA No. 6

CURVAS DE EXTRACCION A LOS 60 DIAS



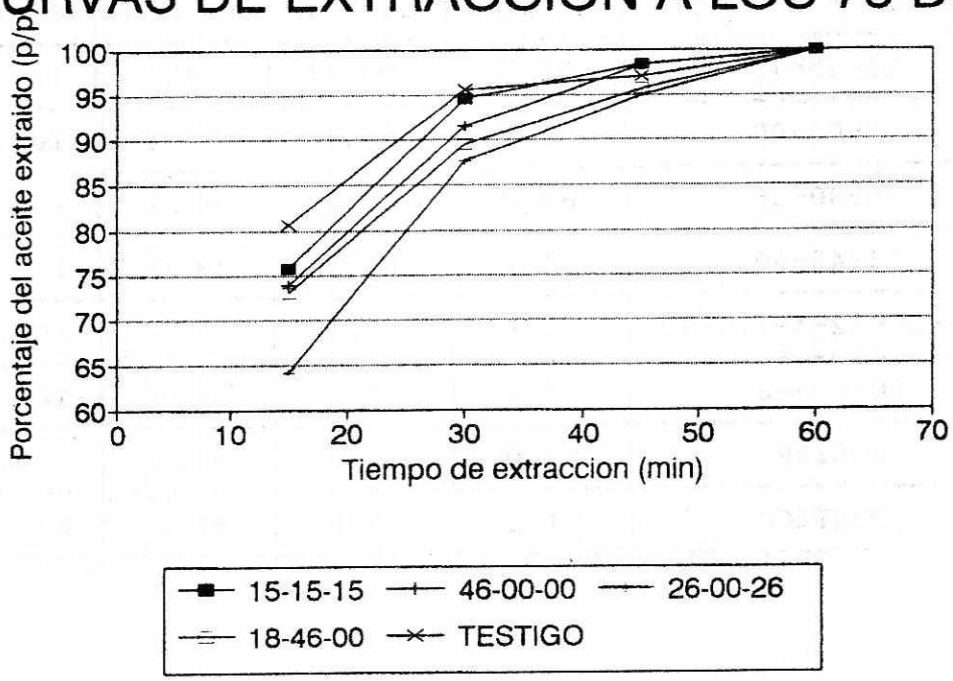
PORCENTAJE DEL ACEITE EXTRAIDO EN FUNCION DEL TIEMPO DE EXTRACCION, A LOS 60 DIAS, PARA DIFERENTES TRATAMIENTOS DE FERTILIZACION. (%(P/P))

TABLA No. 3

FERT.\t EXTRAC.	15 min	30 min	45 min	60 min
15-15-15	75.3	97.6	99.7	100.0
46-00-00	52.8	80.9	91.1	100.0
26-00-26	68.2	87.0	94.6	100.0
18-46-00	64.1	89.7	96.3	100.0
18-06-12-4-1.2-12	71.8	88.7	94.4	100.0
00-00-60	72.9	86.4	94.0	100.0
FOLIAR	57.0	80.5	93.3	100.0
TESTIGO	71.2	90.6	95.3	100.0

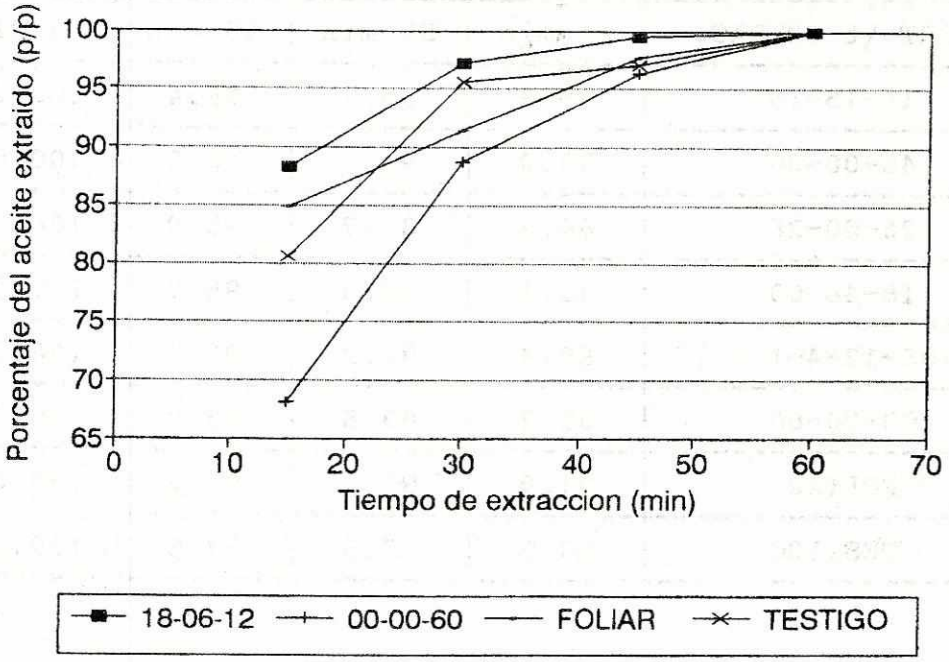
GRAFICA No. 7

CURVAS DE EXTRACCION A LOS 75 DIAS



GRAFICA No. 8

CURVAS DE EXTRACCION A LOS 75 DIAS

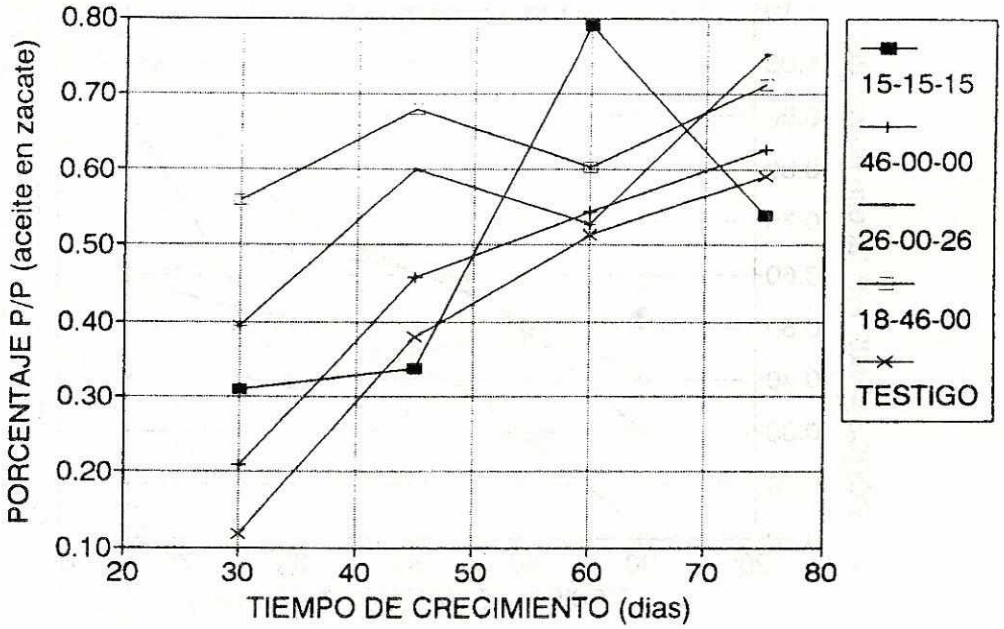


PORCENTAJE DEL ACEITE EXTRAIDO EN FUNCION DEL TIEMPO DE EXTRACCION, A LOS 75 DIAS, PARA DIFERENTES TRATAMIENTOS DE FERTILIZACION. (%(P/P))

TABLA No. 4

FERT.\t EXTRAC.	15 min	30 min	45 min	60 min
15-15-15	75.8	94.7	98.4	100.0
46-00-00	73.9	91.5	98.2	100.0
26-00-26	64.2	87.7	95.0	100.0
18-46-00	73.1	89.5	95.7	100.0
18-06-12-4-1.2-12	88.3	97.2	99.5	100.0
00-00-60	68.2	88.8	96.3	100.0
FOLIAR	84.9	91.4	97.7	100.0
TESTIGO	80.6	95.5	97.0	100.0

GRAFICA No. 9
CURVAS RENDIMIENTO/MASA (60' extrac.)



GRAFICA No. 10
CURVAS RENDIMIENTO/MASA (60' extrac.)

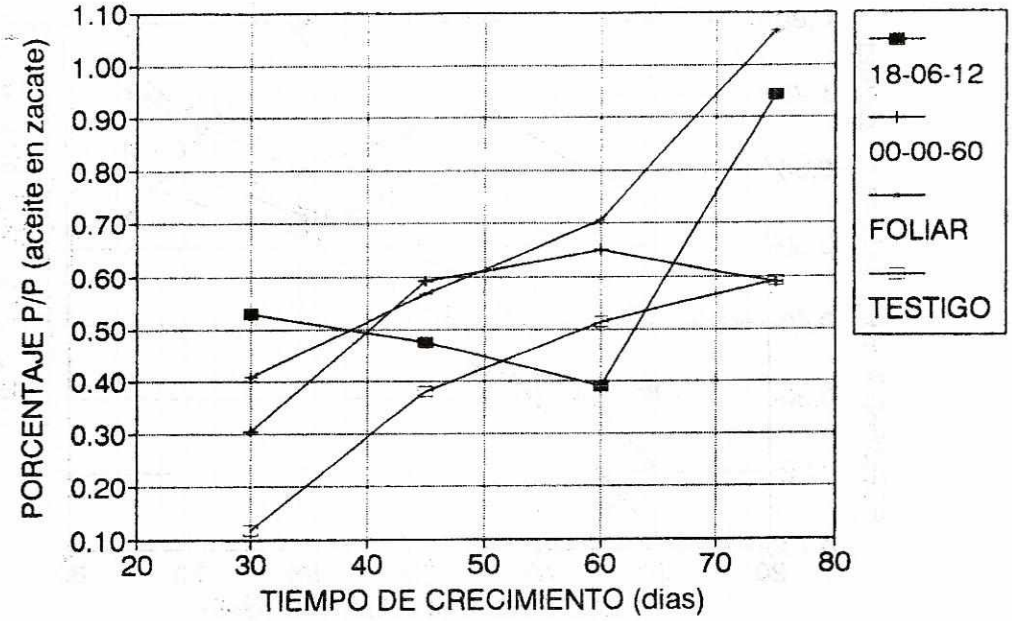
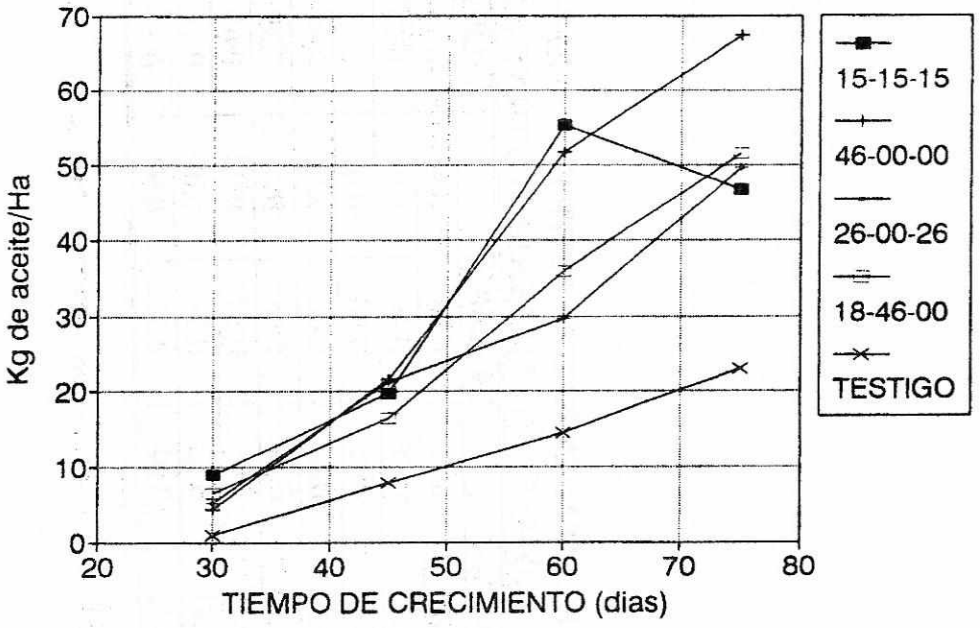


TABLA No. 5

PORCENTAJE (P/P) DE RENDIMIENTO DE ACEITE EXTRAIDO/MASA PROCESADA PARA 60 MINUTOS DE EXTRACCION, Y DIFERENTES TRATAMIENTOS DE FERTILIZACION.

FERT.\t CULTIVO	30 DIAS		45 DIAS		60 DIAS		75 DIAS	
15-15-15	0.31	0.01	0.34	0.01	0.79	0.01	0.54	0.01
46-00-00	0.21	0.02	0.46	0.01	0.54	0.01	0.63	0.01
26-00-26	0.40	0.03	0.60	0.01	0.53	0.01	0.75	0.01
18-46-00	0.56	0.03	0.68	0.01	0.60	0.01	0.71	0.01
18-06-12-4-1.2-12	0.53	0.04	0.48	0.01	0.39	0.01	0.94	0.01
00-00-60	0.30	0.05	0.59	0.02	0.65	0.02	0.59	0.01
FOLIAR	0.41	0.12	0.57	0.02	0.71	0.02	1.07	0.01
TESTIGO	0.12	0.04	0.38	0.02	0.51	0.01	0.59	0.01

GRAFICA No. 11
CURVAS DE RENDIMIENTO/AREA (60' extrac)



GRAFICA No. 12

CURVAS DE RENDIMIENTO/AREA (60' extrac)

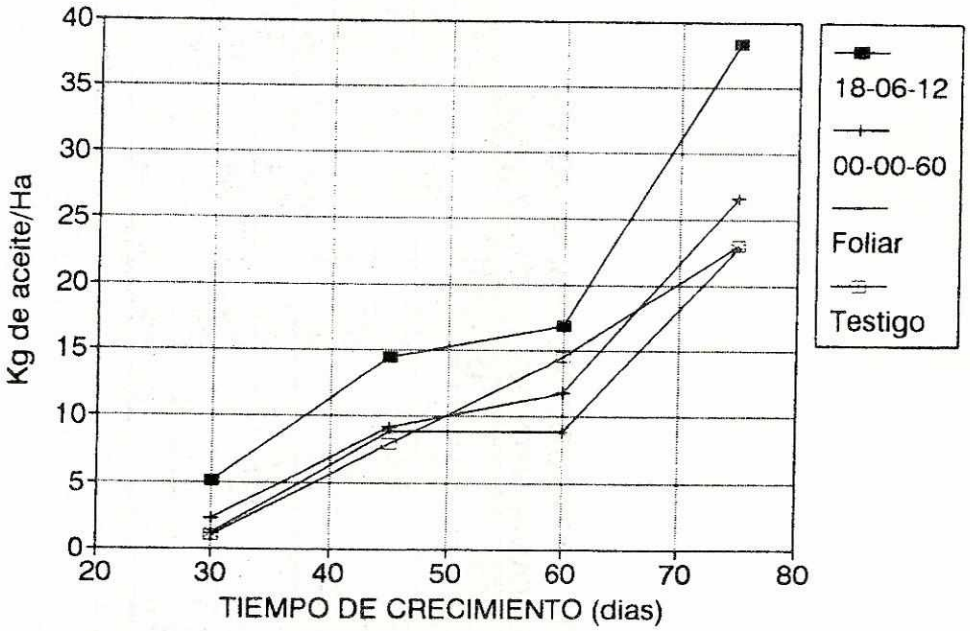


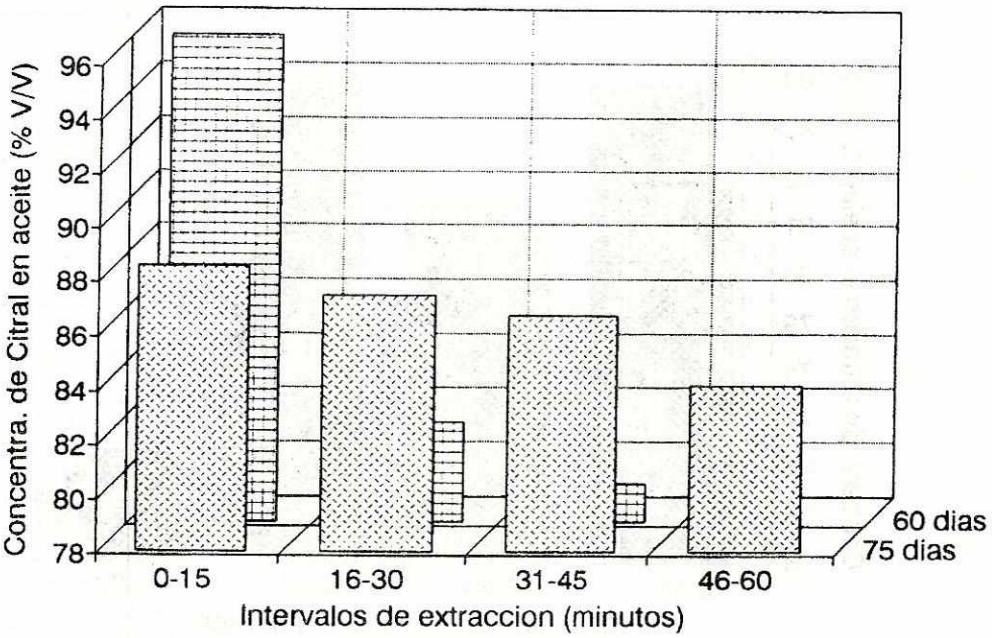
Tabla No. 6

Kg DE ACEITE/Ha/CORTE, EXTRAIDO A LOS 60 MINUTOS PARA DIFERENTES TRATAMIENTOS DE FERTILIZACION.

FERT.\t CULTIVO	30 DIAS		45 DIAS		60 DIAS		75 DIAS	
15-15-15	8.9	0.4	19.7	0.8	55.3	0.8	46.8	1.0
46-00-00	4.4	0.4	21.7	0.6	51.6	1.1	67.4	1.2
26-00-26	5.1	0.4	21.3	0.5	29.7	0.6	49.6	0.7
18-46-00	6.5	0.4	16.5	0.4	36.0	0.7	51.6	0.8
18-06-12-4-1.2-12	5.1	0.4	14.5	0.4	16.9	0.5	38.4	0.5
00-00-60	2.3	0.4	9.2	0.4	11.8	0.3	26.6	0.5
FOLIAR	1.2	0.4	8.9	0.4	8.8	0.3	22.8	0.3
TESTIGO	1.0	0.4	7.9	0.4	14.5	0.3	23.0	0.4

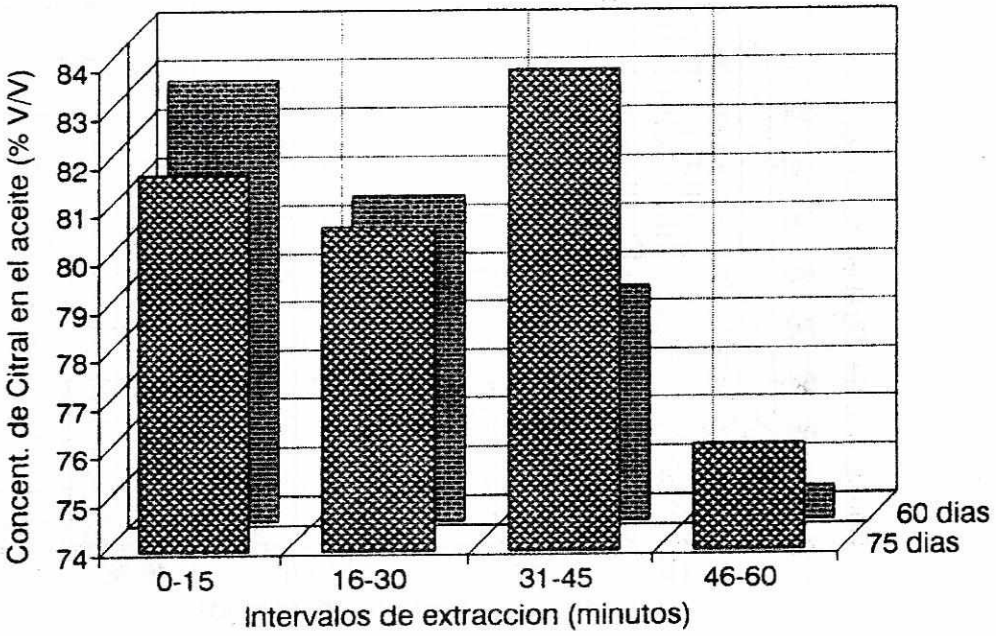
GRAFICA No. 13

CURVAS DE CITRAL (Fert. 15-15-15)



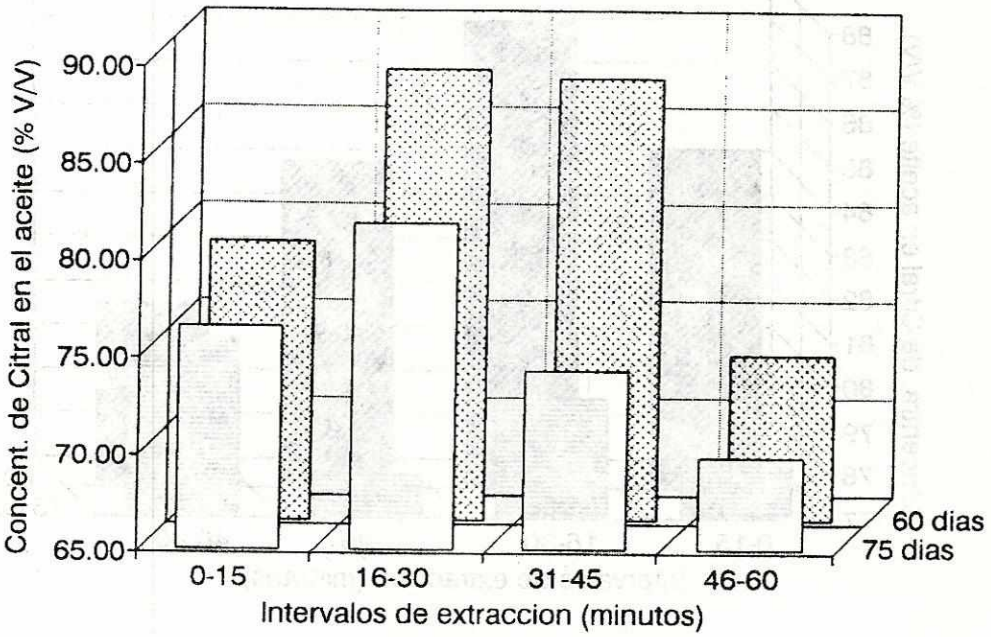
GRAFICA No. 14

CURVAS DE CITRAL (Testigo)



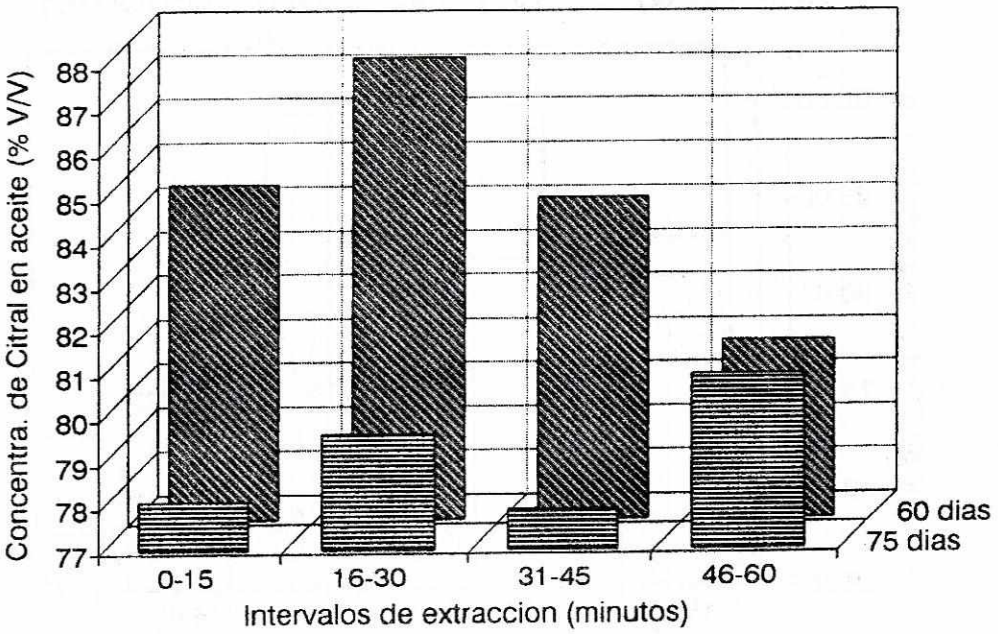
GRAFICA No. 15

CURVAS DE CITRAL (Fert. 46-00-00)



GRAFICA No. 16

CURVAS DE CITRAL (18-46-00)



GRAFICA No. 17
CURVAS DE CITRAL (DIF. FERTILIZANTES)

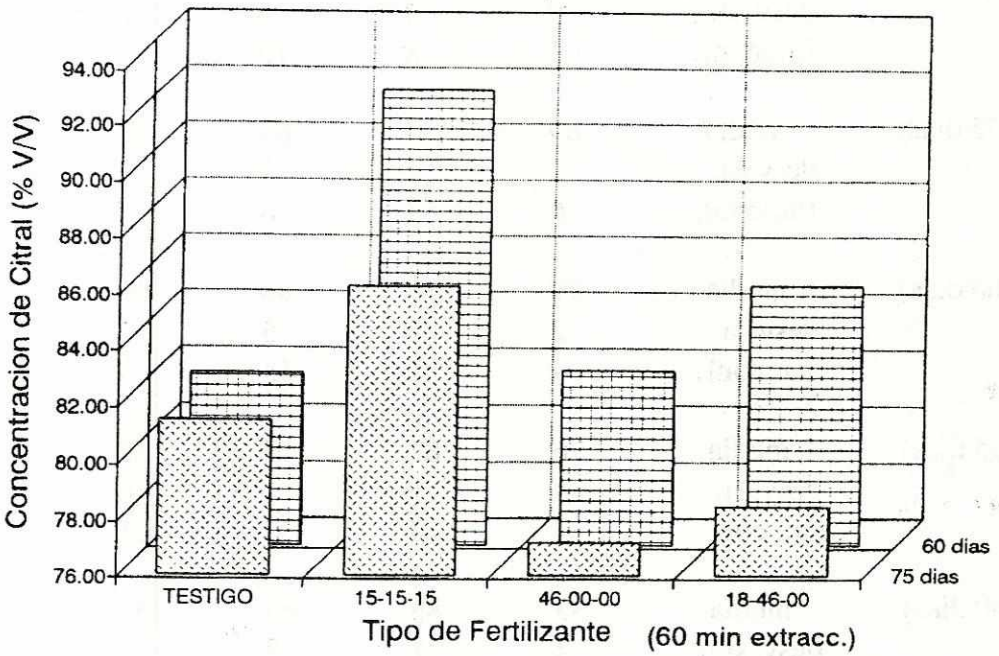


TABLA No. 7

MUESTRA\TIEMPO		Concentraci n Citral % (v/v) 0-15 min	16-30 min	31-45 min	46-60 min	% area ACEITE PURO
TESTIGO (60 dias)	media	83	81	79	75	82.04
	desv. st.	6	2	6	3	4.98
	Int. conf.	14	6	15	6	12.37
TESTIGO (75 dias)	media	82	81	84	76	81.47
	desv. st.	2	6	3	4	2.70
	Int. conf.	5	16	6	9	6.71
15-15-15 (60 dias)	media	96	82	79		92.16
	desv. st.	0	3	4		1.05
	Int. conf.	1	8	10		2.61
15-15-15 (75 dias)	media	89	87	87	84	86.24
	desv. st.	2	1	3	1	2.14
	Int. conf.	6	3	6	2	5.31
46-00-00 (60 dias)	media	79	88	88	74	82.17
	desv. st.	2	11	5	3	4.76
	Int. conf.	4	27	13	7	11.81
46-00-00 (75 dias)	media	76	82	74	70	77.14
	desv. st.	3	1	3	4	2.47
	Int. conf.	7	3	7	11	6.13
18-46-00 (60 dias)	media	85	88	84	81	85.21
	desv. st.	2	5	7	4	3.35
	Int. conf.	6	12	18	9	8.32
18-46-00 (75 dias)	media	78	80	78	81	78.44
	desv. st.	5	3	5	1	4.29
	Int. conf.	12	8	12	2	10.65

CONCENTRACIONES (% (v/v)) DE CITRAL EN ACEITE DE TE DE LIMON, PARA TRES DIFERENTES TIPOS DE FERTILIZANTES, Y CUATRO INTERVALOS DE EXTRACCION. (Muestras en dilucion. Cromatografia de gases con inyeccion en triplicado)

GRAFICA No. 18

UTILIDAD NETA ANUAL (US$)

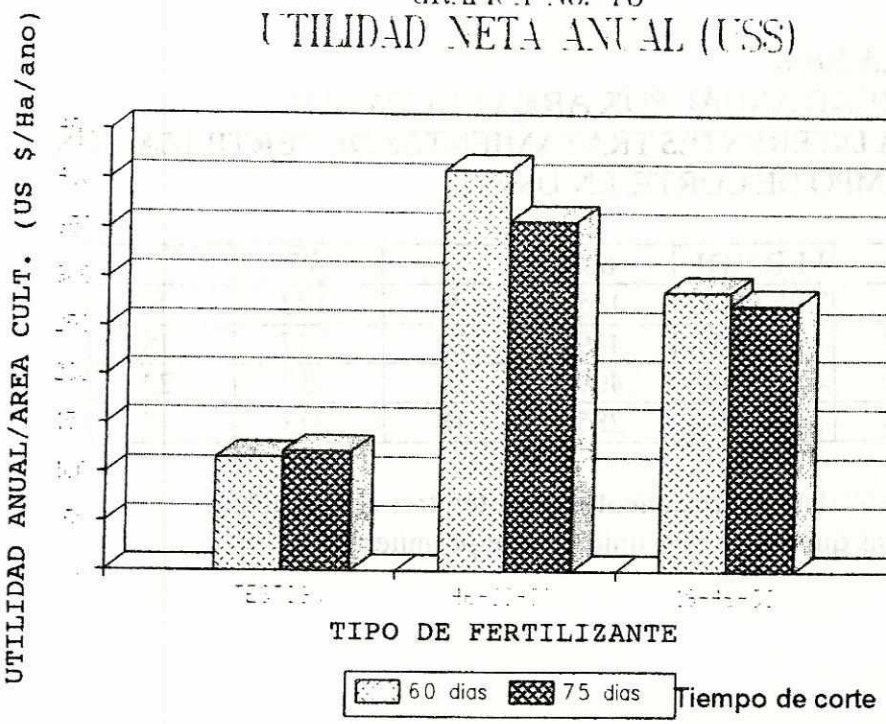


TABLA No. 8
UTILIDAD ANUAL POR AREA CULTIVADA
PARA DIFERENTES TRATAMIENTOS DE FERTILIZACION
Y TIEMPO DE CORTE, EN US$.

R	FERT\DI	60		75	
R1	TESTIGO	115	9	122	8
R2	15-15-15	439	21	247	18
R3	46-00-00	409	29	357	22
R4	18-46-00	285	18	273	15

Los 60 dias de crecimiento permiten tres cortes al ano, mientras que los 75 dias unicamente permiten dos.

VIII. DISCUSION

A. Tiempo de extracción

A lo largo de la existencia de la agroindustria del Té de Limón en Guatemala, el método comúnmente utilizado para extraer el aceite esencial de la planta ha sido el de "Destilación por arrastre con vapor". Tal y como se mencionara en la sección de antecedentes, los tiempos de extracción utilizados en los beneficios de extracción en Guatemala, 75 y 90 minutos, no son los que presentan un mejor costo (Q/Kg de aceite extraído).

Analizando las gráficas de la 1 a la 8, en la sección de resultados, vemos la tendencia que entre los 45 y 60 minutos de extracción se logra obtener arriba del 90% del aceite esencial de la planta, tomando como 100% el aceite que se logra extraer hasta los 60 minutos. Se considera así ya que se estableció que arriba de este tiempo de extracción no es rentable el seguir con el proceso, no importando el tiempo de crecimiento de ésta, ni la composición del fertilizante aplicado a la misma. En el caso de las composiciones de fertilizantes triple quince (15-15-15), urea (46-00-00), 18-46-00 y 26-00-26, se observa que a los 45 ó 60 minutos se ha logrado extraer hasta un 95% del aceite esencial, y algunas veces hasta un 98 ó 99% (p/p).

B. Composición del fertilizante utilizado y edad de la planta

Como se mencionó anteriormente, en Guatemala el cultivo de té de limón es tratado en algunas ocasiones con fertilizantes, mayormente con fertilizantes que presentan altas concentraciones de nitrógeno. Teniendo esto como base se procedió a aplicar siete diferentes composiciones de fertilizantes, en una misma dosis de 194 Kg/Ha a las parcelas y así estudiar sus posibles variaciones.

Ya que el té de limón es un cultivo que agota el suelo, se buscó que los fertilizantes presentaran diferentes composiciones de elementos mayores (N, P, K) para estudiar las posibles diferencias. Los resultados obtenidos se presentan en las tablas 5 y 6 y en las gráficas de la 9 a la 12, de la sección de resultados.

Al observar las gráficas 9 y 10 y la tabla 5, considerando el aceite extraído en 60 minutos, se nota la tendencia que los rendimientos de aceite en términos de materia vegetal mayores a 0.6% (p/p) se obtuvieron arriba de los 60 días de crecimiento de la planta.

El rendimiento máximo obtenido a los 60 días es de un 0.79% ± 0.01 (p/p) para la composición de fertilizante 15-15-15. El rendimiento máximo obtenido a los 75 días es de un 1.06% ± 0.02 (p/p) para el fertilizante foliar, considerándolo excelente tomando en cuenta que el rango en el cual se

mantiene el rendimiento biomásico del aceite esencial de Té de limón es de 0.3 - 0.8% (p/p).

La tendencia que presentan las curvas de cinco de los siete diferentes fertilizantes y el testigo, es de aumentar su rendimiento biomásico a medida que se incrementa el tiempo de crecimiento de la planta. Tanto el comportamiento para la curva del fertilizante 15-15-15 como para la del 18-06-12 presentan un desfase en los puntos obtenidos a los 60 días de crecimiento, por lo cual se debe analizar y darle importancia a las tendencias que se presentan en las curvas, y no a puntos individuales, que por falta de repeticiones sus diferencias no son significativas.

Observando únicamente estos datos se podría pensar que el fetilizante foliar es el óptimo entre las composiciones de fertilizantes utilizados, por presentar el mayor rendimiento biomásico de aceite. Para verificar esto es necesario ir un paso más allá y analizar el rendimiento de aceite que se puede obtener por unidad de área cultivada; dichos resultados se ven reflejados en las gráficas 11 y 12 y en la tabla 6. Para los fines de este estudio, se buscó que el rendimiento de kilogramos de aceite por hectárea se incrementara hasta por lo menos 50 Kg/Ha, siendo este el valor mínimo al cual la empresa Agropecuaria Maricon, S.A. buscará incrementar su producción de aceite por unidad de área cultivada. Con base en lo anterior, los crecimientos de 30 y 45 días para todos los

tratamientos quedan descartados ya que su producción no alcanza el mínimo rendimiento por unidad de área requerido.

Es de hacer notar que a pesar que el fertilizante foliar presentó un mejor rendimiento de aceite por unidad de biomasa a los 75 días de crecimiento, su rendimiento por unidad de área cultivada fue similar al de la parcela testigo, no alcanzando el mínimo requerido ni a los 60 ni a los 75 días de crecimiento.

En el tiempo de cosecha de 60 días, las dos composiciones de fertilizante que están arriba del nivel de rendimiento por unidad de área requerida son el triple quince (15-15-15) y la urea (46-00-00), como se muestra en la tabla 6 y la gráfica 11. Los rendimientos biomásicos para estos dos fertilizantes a los 60 días de crecimiento son considerablemente diferentes (ver gráfica 9) si se analizan puntos individuales, pero como se mencionara anteriomente no es posible hacer comparación de puntos debido a la falta de un respaldo estadístico con mayor número de repeticiones y al extraño comportamiento que presenta la curva para el fertilizante 15-15-15. A pesar de ello, los rendimientos por unidad de área cultivada fueron bastante parecidos (55.33 ± 0.78 Kg de aceite/Ha para el 15-15-15 y 51.62 ± 1.05 Kg de aceite/Ha para el 46-00-00), aunque siempre existió una diferencia ya que sus rangos de incertidumbre no se traslaparon. Lo anterior se explica análizando la composición de cada fertilizante utilizado.

Como es sabido, la aplicación de nitrógeno a las plantas aumenta la cantidad de biomasa de éstas, en especial el follaje. En la planta de té de limón, el aceite es sintetizado en su mayoría en las hojas, entonces al haber aplicado urea a la planta, esta presentó una mayor cantidad de follaje (biomasa) por hectárea, aumentando así el área de hoja para la producción de aceite e incrementando la producción de aceite por hectárea. Para el caso del triple quince, la cantidad de nitrógeno que presenta este fertilizante es tres veces menor que la presente en la urea, siendo dicha diferencia la que explica la disminución de biomasa por unidad de área cultivada, en relación al valor obtenido para la urea. Al mismo tiempo se observó un mayor rendimiento biomásico, siendo esto atribuible a la presencia de los otros dos elementos mayores, fósforo y potasio.

Fundamentándose en lo anterior, es posible deducir que la composición del fertilizante a utilizar debe ser tal que ayude a la planta a obtener: 1) un mayor desarrollo de follaje y al mismo tiempo, y 2) que mejore la producción de aceite por unidad de biomasa.

Para la cosecha a los 75 días, el fertilizante urea presentó el mayor rendimiento de aceite por hectárea (67.44 ± 1.19 Kg de aceite/Ha) y mejoró su rendimiento biomásico en un 15% respecto de los 60 días (ver tablas 5 y 6). En el caso del triple quince, el cual había sido el mejor a los 60 días,

tuvo una disminución considerable en su rendimiento biomásico, pero su rendimiento por unidad de área cultivada quedó por debajo del mínimo requerido. Al hacer un análisis de las gráficas 9 y 11, se observa en las curvas para el fertilizante triple quince que el punto óptimo para ambos rendimientos se encuentran a los 60 días de cosecha, aunque esto es demasiado arriesgado asegurarlo si nuevamente comparamos las tendencias de las curvas y no puntos individuales. Como se aprecia en las gráficas 9 a la 12, tanto la parcela testigo como el resto de parcelas a las cuales se les aplicó una composición de fertilizante diferente de 15-15-15, presentan una tendencia ascendente en cuanto a su rendimiento por unidad de área cultivada, lo que haría pensar que el punto de mayor rendimiento para la plantación tratada con dichas composiciones de fertilizantes es mayor a los 75 días de cosecha, es decir, presenta una acción de maduración tardía.

El resto de los fertilizantes utilizados también presentaron un comportamiento similar, en cuanto a la tendencia de la curva, al de la urea; teniendo a los 75 dias de crecimiento que el 18-46-00 y el 26-00-26 alcanzaron un rendimiento mayor al requerido, ver tabla 6.

En conclusión, se puede decir que tanto para la cosecha a los 60 como a los 75 días, las composiciones de fertilizantes que presentaron los mejores rendimientos de

aceite por unidad de área sembrada fueron el 15-15-15, 46-00-00 ,18-46-00 y 26-00-26; no pudiéndose establecer con seguridad si existe diferencia significativa en cuanto a rendimiento para los tiempos de crecimiento de la planta estudiados, pero sí apreciando una clara tendencia de aumento de rendimientos, tanto biomasa como de aceite por hectárea, conforme aumentó el tiempo de crecimiento.

Otra tendencia que es clara de apreciar en la tabla 6 y en las gráficas 11 y 12, es que los rendimientos de kilogramos de aceite por hectárea que presentaron los fertilizantes 15-15-15, 46-00-00, 18-46-00 y 26-00-26 fueron entre dos y tres veces mayores que los que presentó la parcela testigo a los 60 y 75 días de crecimiento de la planta.

C. Concentración de citral en función del intervalo de extracción

Como se mencionó en la sección de antecedentes, a nivel internacional, la concentración de citral en el aceite de té de limón debe ser de por lo menos 75% (v/v), y entre más concentrado sea éste, mejor la calidad del aceite.

Con esto en mente se hicieron análisis por cromatografía de gases para déterminar la concentración de citral en en aceite extraído a cuatro intervalos de tiempo diferentes durante los 60 minutos de extracción.

Analizando todos los resultados obtenidos para la

concentración de citral en el aceite extraído, que se presentan en la tabla 7, se observa que todos los intervalos de confianza se traslapan no permitiendo esto establecer diferencias significativas entre puntos distintos. Por lo anterior es recomendable, para este estudio, analizar el comportamiento de las concentraciones de citral en cada intervalo de extracción y establecer las tendencias que estos presentan, y en trabajos posteriores realizar un análisis mediante cromatografía de gases más detallado y riguroso para déterminar si los puntos con mayor concentración en realidad presentan una diferencia significativa.

Observando las gráficas 13, 14, 15, 16 y la tabla 7, de la sección de resultados, es posible distinguir tres tendencias claras: 1) la que presentan las curvas de aceite extraído de la parcela fertilizada con 15-15-15, presentando el aceite extraído en el primer intervalo una mayor concentración de citral, la cual disminuye a medida que aumenta el tiempo de extracción. Esta tendencia se observa tanto a los 60 como a los 75 días de crecimento. Mismo comportamiento presentó el aceite obtenido de la parcela testigo a los 60 días de crecimiento. 2) Para el aceite obtenido de la parcela testigo con 75 días de crecimiento, al igual que el obtenido de la parcela fertilizada con 18-46-00 también con 75 días de crecimiento, la concentración de citral no presenta alguna tendencia clara, sino que aumenta y

disminuye indistintamente a lo largo de los 4 intervalos de tiempo, durante el período de extracción. 3) Por último, para los aceites obtenidos de las parcelas fertilizadas con 46-00-00 a los 60 y 75 días, y la parcela fertilizada con 18-46-00 a los 60 días de crecimiento, estos presentaron la mayor concentración de citral en los intervalos intermedios de extracción, de los 16 a los 45 minutos, teniendo el intervalo de los 16 a los 30 minutos la mayor concentración de los dos, para todos los aceites mencionados anteriormente.

La única diferencia significativa que se muestra es para el intervalo de extracción de 0 a 15 minutos, para el tratamiento con 15-15-15 a 60 días de crecimiento y 60 minutos de extracción. La concentración obtenida fue de 96.0% ± 0.8. Por el método de extracción utilizado este resultado parecería casi imposible ya que el vapor arrastra una mezcla de compuestos, algunos en mayor concentración que otros, pero siempre una mezcla. El análisis de esta muestra se realizó varias veces, ya que este valor fue el único que estaba fuera del rango de concentraciones obtenidas para el resto de las muestras, pero siempre se obtuvieron valores similares. Se hace necesario entonces, para la obtención de datos de mayor confiabilidad, repetir toda la experimentación para esta muestra y establecer si en realidad la diferencia existente es significativa.

Por último hay que hacer notar que los análisis

realizados a los aceites completos, es decir aquellas resultantes de ir juntando y mezclando todas las muestras recogidas en cada intervalo de extracción, según la gráfica 17 y la tabla 7, muestran que todas las parcelas tratadas con diferentes fertilizantes, e inclusive la testigo, muestran que la concentración promedio del citral se encuentra siempre arriba del 75% (v/v) requerido como mínimo.

También se observa que la concentración promedio para cada parcela cultivada a los 60 días de crecimiento de la planta fue siempre mayor a la cultivada a los 75 días. De estos, el aceite obtenido de las parcelas fertilizadas con 15-15-15 presentó siempre una concentración promedio mayor al del resto de las muestras de aceite obtenidas de las otras parcelas, tanto para los 60 como para los 75 días de cultivo.

Los intervalos de confianza que se presentan junto con los promedios, los cuales son bastante amplios, son originados principalmente por el método de análisis cromatográfico empleado, por lo cual es válido el uso de los promedios como puntos de comparación. Los intervalos de confianza pueden hacerse más pequeños al mejorar la técnica de análisis cromatográfico.

D. Número óptimo de cortes

Debido al rápido crecimiento que presenta la planta de té de limón, es posible lograr más de un solo corte durante la

época lluviosa que es la época normal de cosecha.

Con base en consideraciones económicas y a los resultados anteriormente obtenidos, es decir la composición de fertilizantes que han presentado mejor rendimiento por área y los tiempos de crecimiento de la planta a los cuales se presentaron estos rendimientos, se calcularon los resultados dados en la tabla 8, en la sección de resultados. Esta tabla y la gráfica 18 resumen el análisis económico que se realizó para los tres tratamientos que presentaron los más altos rendimientos en cuanto a producción de aceite esencial por área cultivada. El análisis económico completo se encuentra en el apéndice C. Como se muestra, las mejores utilidades por año corresponden a los tratamientos realizados con fertilizantes 15-15-15 y 46-00-00, a los 60 días de crecimiento; la diferencia entre dichas utilidades no es significativa según los intervalos de confianza para cada valor, los cuales presentan un traslape.

Para la cosecha a los 75 días de crecimiento, todos los tratamientos a excepción de la parcela testigo, presentaron una disminución en comparación con las utilidades obtenidas a los 60 días. Analizando el rendimiento de aceite por unidad de área cultivada (tabla 6), se observa que para los fertilizantes 46-00-00 y 18-46-00 existe un aumento en dicho rendimiento a los 75 días de cosecha; sin embargo la utilidad por año de éstos decrece. Para el 15-15-15 el comportamiento

no es igual al de los anteriores, ya que tanto en rendimiento como en utilidad por año presenta una disminución, comportamiento que pareciera más lógico que el de los otros dos fertilizantes, los cuales aumentaron su producción por unidad de área cultivada, pero disminuyó su utilidad anual. La razón para dicha disminución en las utilidades radica, para los tres casos, en que la cosecha a los 60 días permite que durante el tiempo de cosecha puedan lograrse 3 cortes, mientras que la cosecha a los 75 días únicamente permite 2 cortes ya que al querer lograr el tercero la planta no ha alcanzado la madurez que pemite un rendimiento óptimo. Además el corte a los 75 días de crecimiento presenta el aparecimiento de la flor de dicha planta, lo cual resta desarrollo de follaje debido al engrosamiento del tallo y se perjudica así la producción del aceite. También a esta edad las plantas muestran el aparecimiento de manchas a lo largo del ápice de las hojas, lo cual es índice de una muerte apical.

Entonces, con base en las utilidades anuales calculadas y a los problemas que se presentan al extender el cultivo de la planta de té de limón a los 75 días, resulta que los 60 días de crecimiento son la mejor alternativa para la edad de corte de la planta.

IX. CONCLUSIONES

A. El tiempo de extracción al cual se optimiza el rendimiento del aceite de té de limón, en terminos de costo de extracción por unidad de masa de aceite extraído, para plantas de cualquier edad y tratamiento de fertilización, es de 60 minutos.

B. Todas las parcelas, fertilizadas y no fertilizadas, presentaron su mejor rendimiento de producción de aceite por unidad de área cultivada, a partir de los 60 días de crecimiento.

C. Las parcelas fertilizadas con la composición de fertilizante 15-15-15 presentó rendimiento de aceite por unidad de área cultivada mayor a los 50 Kg/Ha en los 60 días crecimiento, mientras que las parcelas fertilizadas con 46-00-00, 18-46-00 y 20-00-26 lo presentaron a los 75 días de crecimiento; esto significa una producción mayor, entre 2 y 3 veces, que la parcela testigo.

D. Las composiciones de fertilizantes foliar, 18-46-00 y 26-00-26 presentaron los mejores rendimientos en términos de masa, los cuales son 1.07 ± 0.01, 0.71 ± 0.01, 0.75 ± 0.01 % (p/p) respectivamente, a los 75 días de crecimiento;

mientras que a los 60 días el mejor rendimiento lo presentó el 15-15-15 con 0.79 ± 0.01 % (p/p).

E. El tratamiento con fertilizante foliar, a pesar de haber dado lugar al mejor rendimiento en términos de masa, 1.07 % ± 0.01 (p/p) a los 75 días de crecimiento de la planta; presentó un rendimiento de aceite por unidad de área igual a las parcelas testigo, 22.79 ± 0.31 %.

Esto indica que una composición de fertilizante que presenta un rendimiento óptimo en terminos de masa, no necesariamente obtendrá un rendimiento por unidad de área satisfactorio.

F. Se observaron varias tendencias en cuanto a la concentración del citral para los diferentes tipos de fertilizantes utilizados.

La primera tendencia mostró que el citral esta mayormente concentrado en los intervalos de extracción de 15 - 30 y de 31 - 45 minutos, para los fertilizantes 46-00-00, a los 60 y 75 días de cultivo, y para el fertilizante 18-46-00 a los 60 días de cultivo. El fertilizante 15-15-15, a los 60 y 75 días y la parcela testigo a 60 días de crecimiento, presentaron una mayor concentración de citral en el intervalo de 0 - 15 minutos; mientras que para la parcela testigo y la

tratada con 18-46-00, a los 75 días de crecimiento no presentaron una tendencia definida.

G. Todas la muestras de aceite proveniente de las parcelas tratadas con fertilizante y la testigo, mantienen la concentración promedio de citral arriba del 75% (v/v), concentración internacionalmente requerida. Los intervalos de confianza tan amplios que se obtuvieron, son originados principalmente por el método de análisis cromatográfico empleado.

H. Las máximas utilidades anuales, en terminos económicos, se presentan para los 60 días de corte o crecimiento de la planta, fertilizando con 15-15-15 y 46-00-00, ya que el cultivo a los 60 días de crecimiento permite la obtención de 3 cortes de la planta de té de limón al año, mientras que a los 75 días dos cortes.

X. RECOMENDACIONES

A. El presente trabajo se dedicó al análisis y optimización de la agroindustria del té de limón, principalmente en tres áreas: a) cultivo y fertilización, b)cosecha, y c) extracción. En cada una de éstas áreas quedan aún estudios que pueden realizarse para enriquecer más los conocimientos que se tienen del té de limón y su agroindustria en Guatemala.

En el área de cultivo se analizó únicamente el comportamiento que presentó la planta a una cantidad déterminada de fertilizante, con diferentes composiciones de macronutrientes (N, P, K). Es posible y recomendable realizar un estudio que permita déterminar la dosificación óptima de fertilizante para la planta.

B. La sección de antecedentes menciona algunos estudios que realizó **APAE** en cuanto a la influencia que pudieran tener los micronutrientes en la planta. Se recomienda la ampliación y profundización de dichos estudios para establecer la influencia que puedan tener los micronutrientes en la producción del aceite y en la calidad de éste. Esto permitirá establecer la combinación de macro y micronutrientes en un solo fertilizante para la mejora de la producción del aceite por la planta.

C. También queda abierta la posibilidad de analizar la variación de rendimientos que pueda presentar la realización

de una fertilización cruzada,es decir la utilización de una mezcla de fertilizantes.

D. En el área de extracción se recomienda optimizar el aprovechamiento de la energía calorífica que se pierde en el ambiente, por radiación en las tuberías.

E. Hacer un estudio para el aprovechamiento del bagazo del té de limón, como combustible, luego de la extracción. Esto permitiría lograr un ahorro en lo referente a combustible. O bien, utilizar este como un fertilizante para los mismos campos de siembra del té de limón, o como fuente de materia orgánica para suelos deficientes en esta.

F. En cuento al modelo experimental utilizado en este trabajo, valdría la pena incluir replicas en los tratamientos de fertilización, tiempo de corte y extracción; de manera de datos que permitan realizar un análisis estadistico que establesca con mayor exactitud, si las diferencias o tendencias mostradas en este trabajo son verdaderamente significativas, o bien, fueron producto de la casualidad.
La introducción de replicas en el método cromatográfico también es recomendable.

Como se ve, aún queda mucho campo de investigación en la agroindustria del té de limón, y se espera que con este

trabajo se logre incentivar a otras personas a desarollar más aún dicho campo.

XI. BIBLIOGRAFIA

1. Asociación de Productores de Aceites Esenciales, Oficina de Investigación Técnica. Experimentos e Investigaciones, Resultados Analíticos, Guatemala, C.A.

Volumen No. 1	1965
Volumen No. 2	1966
Volumen No. 3	1967
Volumen No. 4	1968
Volumen No. 5	1970

2. Gunther, E. Ph.D. The Essential oils. New York, 1952 Editorial D. Van Nostrand Company, Inc. 1ra ed. 5 v.

3. Wijesekera, R.O.B. Practical Manual on the Essential oils Industry. Thailand Printed at thailand Institute of Scientific and Technological Research Press. 1ra ed. 17 pp.

4. Williams, S. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. New York, The William Byrd Press. 14th ed.

5. Essential Oils Sub-Committee. "Application of Gas 1973,Aug. Liquid Chromatography to the Analysis of Essential Oils, Part II" Analyst (United States), Vol. 98, pp. 616-623

6. Doyle, P. M., W. S. Mungal. Experimental Organic 1980 Chemistry. New York, John Wiley & Sons Inc. 2nd ed. 490 pp

7. Referencias personales. Pláticas sostenidas con personas encargadas de beneficios de extracción y cultivo de té de limón. 1993

8. Intercop, S.A. Optimización de la extracción del 1990 té de limón. Guatemala. Documento no publicado.

9. Agri-Lab. 1993 Análisis de suelos prácticados en la finca San José Maricó, Retalhulehu. Guatemala. Documento no publicado.

APENDICES

A. DATOS BRUTOS

MUESTRA DE CALCULO

TABLA A2
Prueba a los 45 días
Fertilizante: 15-15-15 (triple quince)

% rendimiento (p/p) = $\frac{\text{Tot. Kg aceite extraído}}{\text{Masa zacate alimentado al chunche}}$ * 100

% rendimiento (p/p) = $\frac{0.153 \text{ Kg}}{45.45 \text{ Kg}}$ * 100 = 0.34 %

Incertidumbre S_c

0.153 ± 0.003 Kg 45.45 ± 0.1 Kg

$S_c = 0.34 * \sqrt{((0.003/0.153)^2 + (0.1/45.45)^2)}$

$S_c = 0.01$

% rendimiento (p/p) = 0.34 ± 0.01 Kg

Materia prima (Kg) / Ha

98.41 ± 0.1 Kg / 168.45 ± 0.05 m^2
Ha = 10,000 m^2

Materia prima (Kg) / Ha = $\frac{98.41 \text{ Kg} * 10{,}000 \text{ m}^2}{168.45 \text{ m}^2}$

= 5842 Kg/Ha

Incertidumbre S_c = $5842 * \sqrt{((0.1/98.41)^2 + (0.05/168.45)^2)}$

S_c = 6

Materia Prima = 5842 ± 6 Kg/Ha

Aceite (Kg) / Ha

$$\text{Aceite (Kg)/Ha} = \frac{\text{\% rendimiento (p/p)}}{100} * \text{Mat. Prima (Kg/Ha)}$$

$$= \frac{0.34\% * 5842 \text{ Kg/Ha}}{100}$$

$$= 19.8$$

Incertidumbre $S_c = 19.8 * \sqrt{((0.01/0.34)^2 + (6/5842)^2)}$

$$S_c = 0.6$$

Aceite (Kg)/Ha = 19.8 ± 0.6 Kg/Ha

TABLA A1

INCERTIDUMBRE BALANZA (0.003
INCERTIDUMBRE ROMANA (0.1
INCER. CINTA METRICA (m) 0.05

PRUEBAS A LOS 30 DIAS

	15 min	30 min	45 min	60 min										
FERT.\EXTRAC.	Ma. acei. Kg	Ma. acei. Kg	Ma. acei. Kg	Ma. acei. Kg	Tot. ma. Kg	Incer. Kg	REND. AC % (P/P)	Incer.	REND. MAT PRIMA seca (Kg 168.45 m^2	Incer.	REND. MAT PRIMA seca (Kg Ha	Incer.	REND. ACEITE (Kg) / Ha	Incer.
15-15-15	0.049	0.052	0.049	0.001	0.150	0.006	0.31	0.01	48.53	0.1	2881	6	8.9	0.4
46-00-00	0.048	0.017	0.009	0.000	0.074	0.006	0.21	0.02	35.37	0.1	2100	6	4.4	0.4
26-00-26	0.046	0.017	0.013	0.010	0.086	0.006	0.40	0.03	21.77	0.1	1292	6	5.1	0.4
18-46-00	0.051	0.032	0.018	0.008	0.109	0.006	0.56	0.03	19.50	0.1	1158	6	6.5	0.4
18-06-12-4-1.2-12	0.013	0.023	0.026	0.024	0.086	0.006	0.53	0.04	16.33	0.1	969	6	5.1	0.4
00-00-60	0.021	0.010	0.008	0.000	0.039	0.006	0.30	0.05	12.70	0.1	754	6	2.3	0.4
FOLIAR	0.008	0.006	0.006	0.000	0.020	0.006	0.41	0.12	4.99	0.1	296	6	1.2	0.4
TESTIGO	0.006	0.005	0.005	0.000	0.017	0.006	0.12	0.04	14.06	0.1	835	6	1.0	0.4

TABLA A2

INCERTIDUMBRE BALANZA (0.003
INCERTIDUMBRE ROMANA (0.1
INCER. CINTA METRICA (m) 0.05

PRUEBAS A LOS 45 DIAS

	15 min	30 min	45 min	60 min										
FERT.\EXTRAC.	Ma. acei. Kg	Ma. acei. Kg	Ma. acei. Kg	Ma. acei. Kg	Tot. ma. Kg	Incer. Kg	REND. AC % (P/P)	Incer.	REND. MAT PRIMA seca (Kg 168.45 m^2	Incer.	REND. MAT PRIMA seca (Kg Ha	Incer.	REND. ACEITE (Kg) / Ha	Incer.
15-15-15	0.100	0.039	0.010	0.005	0.153	0.006	0.34	0.01	98.41	0.1	5842	6	19.7	0.8
46-00-00	0.139	0.046	0.017	0.006	0.208	0.006	0.46	0.01	79.82	0.1	4738	6	21.7	0.6
26-00-26	0.212	0.031	0.020	0.009	0.272	0.006	0.60	0.01	59.86	0.1	3554	6	21.3	0.5
18-46-00	0.173	0.068	0.025	0.011	0.277	0.006	0.68	0.01	40.82	0.1	2423	6	16.5	0.4
18-06-12-4-1.2-12	0.157	0.039	0.018	0.002	0.216	0.006	0.48	0.01	51.25	0.1	3042	6	14.5	0.4
00-00-60	0.099	0.043	0.008	0.005	0.155	0.006	0.59	0.02	26.30	0.1	1562	6	9.2	0.4
FOLIAR	0.097	0.032	0.018	0.002	0.149	0.006	0.57	0.02	26.30	0.1	1562	6	8.9	0.4
TESTIGO	0.082	0.038	0.012	0.001	0.133	0.006	0.38	0.02	34.92	0.1	2073	6	7.9	0.4

TABLA A3

INCERTIDUMBRE BALANZA (0.003
INCERTIDUMBRE ROMANA (0.1
INCER. CINTA METRICA (m) 0.05

PRUEBAS A LOS 60 DIAS

FERT.Y EXTRAC.	15 min Ma. acei. Kg	30 min Ma. acei. Kg	45 min Ma. acei. Kg	60 min Ma. acei. Kg	Tot. ma. Kg	Incer. Kg	REND. AC % (P/P)	Incer.	REND. MAT PRIMA seca (Kg 168.45 m ^ 2	Incer.	REND. MAT PRIMA seca (Kg Ha	Incer.	REND. ACEITE (Kg) / Ha	Incer.
15-15-15	0.270	0.080	0.008	0.001	0.359	0.005	0.79	0.01	117.91	0.1	7000	6	55.3	0.8
46-00-00	0.130	0.069	0.025	0.022	0.246	0.005	0.54	0.01	160.32	0.1	9517	6	51.6	1
26-00-26	0.163	0.045	0.018	0.013	0.239	0.005	0.53	0.01	94.78	0.1	5627	6	29.7	0.6
18-46-00	0.175	0.070	0.018	0.010	0.273	0.005	0.60	0.01	100.68	0.1	5977	6	36.0	0.7
18-06-12-4-1.2-12	0.127	0.030	0.010	0.010	0.177	0.005	0.39	0.01	73.02	0.1	4335	6	16.9	0.5
00-00-60	0.145	0.027	0.015	0.012	0.199	0.005	0.65	0.02	30.61	0.1	1817	6	11.8	0.3
FOLIAR	0.085	0.035	0.019	0.010	0.149	0.005	0.71	0.02	21.09	0.1	1252	6	8.8	0.3
TESTIGO	0.166	0.045	0.011	0.011	0.233	0.005	0.51	0.01	47.62	0.1	2827	6	14.5	0.3

TABLA A4

INCERTIDUMBRE BALANZA (0.003
INCERTIDUMBRE ROMANA (0.1
INCER. CINTA METRICA (m) 0.05

PRUEBAS A LOS 75 DIAS

FERT.Y EXTRAC.	15 min Ma. acei. Kg	30 min Ma. acei. Kg	45 min Ma. acei. Kg	60 min Ma. acei. Kg	Tot. ma. Kg	Incer. Kg	REND. AC % (P/P)	Incer.	REND. MAT PRIMA seca (Kg 168.45 m ^ 2	Incer.	REND. MAT PRIMA seca (Kg Ha	Incer.	REND. ACEITE (Kg) / Ha	Incer.
15-15-15	0.185	0.046	0.009	0.004	0.244	0.005	0.54	0.01	146.50	0.1	8697	6	46.8	1
46-00-00	0.210	0.050	0.019	0.005	0.284	0.005	0.63	0.01	181.41	0.1	10769	6	67.4	1
26-00-26	0.219	0.080	0.025	0.017	0.341	0.005	0.75	0.01	111.11	0.1	6596	6	49.6	0.7
18-46-00	0.236	0.053	0.020	0.014	0.323	0.005	0.71	0.01	121.99	0.1	7242	6	51.6	0.8
18-06-12-4-1.2-12	0.378	0.038	0.010	0.002	0.428	0.005	0.94	0.01	68.48	0.1	4065	6	38.4	0.5
00-00-60	0.182	0.055	0.020	0.010	0.267	0.005	0.59	0.01	76.20	0.1	4524	6	26.6	0.5
FOLIAR	0.326	0.025	0.024	0.009	0.384	0.005	1.07	0.01	36.05	0.1	2140	6	22.8	0.3
TESTIGO	0.216	0.040	0.004	0.008	0.268	0.005	0.59	0.01	65.50	0.1	3888	6	23.0	0.4

B. ANALISIS ECONOMICO

MUESTRA DE CALCULO

TABLA B1
Prueba a los 45 días
Fertilizante: 15-15-15 (triple quince)

Los datos:

Porcentaje de Rendimiento (p/p)
Materia Prima (Kg)/Ha
Aceite (Kg)/Ha

con sus respectivas incertidumbres son obtenidos de la TABLA A2

Los datos:

Costo de Kg de Té de Limón = US$ 5.07
Precio Venta Kg de Té de Limón = US$ 7.72

son obtenidos de la contabilidad de la empresa Agropecuaria Maricon, S.A.

Costo de Operación/Ha/Corte (US$)

= Kg de aceite/Ha * Costo Kg Té de Limón

= 19.7 ± 0.8 * 5.07 ± 0.0

= 100.0 ± 3.2

Venta neta de aceite en US$

= Kg de aceite/Ha * Precio Venta Kg Té de Limón

= 19.7 ± 0.8 * 7.72 ± 0.0

= 152.2 ± 4.9

Utilidad Bruta/Ha en US$

= Venta neta - Costo de Operación

= 152.2 ± 4.9 - 100.0 ± 3.2

= 52.0 ± 5.9

TABLA B1

PORCENTAJE DE RENDIMIENTO
(Kg aceite/Kg zacate)

R	FERT.DI	30	45	60	75
R1	15-15-15	0.31	0.34	0.79	0.54
R2	TESTIG	0.12	0.38	0.51	0.59
R3	46-00-00	0.21	0.46	0.54	0.63
R4	00-00-60	0.30	0.59	0.65	0.59
R5	26-00-26	0.40	0.60	0.53	0.75
R6	FOLIAR	0.41	0.57	0.74	1.07
R7	18-06-12	0.53	0.48	0.39	0.94
R8	18-46-00	0.56	0.68	0.60	0.71

Kg de zacate/Ha/corte

R	FERT.DI	30	45	60	75
R1	15-15-15	2880.74	5842.25	6999.93	8696.88
R2	TESTIG	834.61	2073.06	2826.90	3888.39
R3	46-00-00	2099.98	4738.41	9517.21	10769.37
R4	00-00-60	753.84	1561.52	1817.29	4523.60
R5	26-00-26	1292.29	3553.81	5626.87	6596.02
R6	FOLIAR	296.15	1561.52	1251.91	2140.10
R7	18-06-12	969.22	3042.28	4334.57	4065.30
R8	18-46-00	1157.68	2423.05	5976.86	7241.91

Kg de aceite/Ha corte

R	FERT.DI	30	45	60	75
R1	15-15-15	8.93	19.72	55.33	46.79
R2	TESTIG	0.98	7.88	14.52	22.98
R3	46-00-00	4.38	21.68	51.62	67.44
R4	00-00-60	2.29	9.23	11.81	26.63
R5	26-00-26	5.12	21.31	29.65	49.6
R6	FOLIAR	1.21	8.85	8.84	22.8
R7	18-06-12	5.13	14.48	16.92	38.37
R8	18-46-00	6.46	16.46	35.98	51.58

Costo de operacion/Ha/Corte
en US$

R	FERT.DI	30	45	60	75
R1	15-15-15	45.31	100.05	280.71	237.39
R2	TESTIG	4.97	39.98	73.67	116.59
R3	46-00-00	22.22	109.99	261.89	342.15
R4	00-00-60	11.62	46.83	59.92	135.11
R5	26-00-26	25.98	108.12	150.43	251.64
R6	FOLIAR	6.14	44.90	44.85	115.67
R7	18-06-12	26.03	73.46	85.84	194.67
R8	18-46-00	32.77	83.51	182.54	261.69

Venta neta Aceite de Te de Limon/Ha corte
en US$

R	FERT.DI	30	45	60	75
R1	15-15-15	68.92	152.19	427.01	361.10
R2	TESTIG	7.56	60.81	112.06	177.35
R3	46-00-00	33.80	167.32	398.38	520.47
R4	00-00-60	17.67	71.23	91.14	205.52
R5	26-00-26	39.51	164.46	228.82	382.79
R6	FOLIAR	9.34	68.30	68.22	175.96
R7	18-06-12	39.59	111.75	130.58	296.12
R8	18-46-00	49.86	127.03	277.68	398.07

UTILIDAD BRUTA/Ha/CORTE
en US$

R	FERT.DI	30	45	60	75
R1	15-15-15	23.61	52.14	146.30	123.72
R2	TESTIG	2.59	20.84	38.39	60.76
R3	46-00-00	11.58	57.32	136.49	178.31
R4	00-00-60	6.05	24.40	31.23	70.41
R5	26-00-26	13.54	56.34	78.40	131.14
R6	FOLIAR	3.20	23.40	23.37	60.28
R7	18-06-12	13.56	38.29	44.74	101.45
R8	18-46-00	17.08	43.52	95.13	136.38

TABLA B2

INCERTIDUMBRE DE
PORCENTAJE DE RENDIMIENTO
(Kg aceite/Kg zacate)

R	FERTIDI	30	45	60	75
R1	15-15-15	0.010	0.011	0.011	0.011
R2	TESTIG	0.014	0.011	0.011	0.011
R3	46-00-00	0.023	0.011	0.011	0.011
R4	00-00-60	0.026	0.012	0.011	0.011
R5	26-00-26	0.031	0.011	0.011	0.011
R6	FOLIAR	0.039	0.019	0.016	0.011
R7	18-06-12	0.101	0.019	0.024	0.014
R8	18-46-00	0.036	0.014	0.011	0.011

INCERTIDUMBRE
Kg de zacate/Ha/corte

R	FERTIDI	30	45	60	75
R1	15-15-15	6.00	6.18	6.29	6.47
R2	TESTIG	5.94	5.97	6.00	6.05
R3	46-00-00	5.97	6.10	6.57	6.74
R4	00-00-60	5.94	5.95	5.96	6.09
R5	26-00-26	5.95	6.03	6.17	6.25
R6	FOLIAR	5.94	5.95	5.95	5.97
R7	18-06-12	5.94	6.00	6.07	6.06
R8	18-46-00	5.95	5.98	6.20	6.31

INCERTIDUMBRE
Kg de aceite/Ha/corte

R	FERTIDI	30	45	60	75
R1	15-15-15	0.30	0.64	0.78	0.96
R2	TESTIG	0.12	0.23	0.32	0.43
R3	46-00-00	0.48	0.52	1.06	1.18
R4	00-00-60	0.20	0.20	0.20	0.50
R5	26-00-26	0.39	0.39	0.62	0.74
R6	FOLIAR	0.12	0.30	0.20	0.24
R7	18-06-12	0.97	0.58	1.04	0.58
R8	18-46-00	0.41	0.35	0.67	0.80

INCERTIDUMBRE
Costo de operacion/Ha/Corte
en US$

R	FERTIDI	30	45	60	75
R1	15-15-15	1.51	3.25	3.93	4.85
R2	TESTIG	0.59	1.17	1.60	2.19
R3	46-00-00	2.44	2.65	5.36	6.00
R4	00-00-60	1.00	1.00	1.04	2.53
R5	26-00-26	2.00	2.00	3.14	3.74
R6	FOLIAR	0.60	1.52	1.02	1.24
R7	18-06-12	4.94	2.93	5.27	2.95
R8	18-46-00	2.09	1.78	3.38	4.08

INCERTIDUMBRE
Venta neta Aceite de Te de Limon/Ha/corte
en US$

R	FERTIDI	30	45	60	75
R1	15-15-15	2.30	4.94	5.98	7.38
R2	TESTIG	0.89	1.78	2.44	3.33
R3	46-00-00	3.71	4.03	8.15	9.13
R4	00-00-60	1.53	1.52	1.58	3.86
R5	26-00-26	3.05	3.05	4.77	5.68
R6	FOLIAR	0.92	2.31	1.55	1.88
R7	18-06-12	7.52	4.46	8.02	4.49
R8	18-46-00	3.18	2.70	5.13	6.21

INCERTIDUMBRE
UTILIDAD NETA/Ha/CORTE
en US$

R	FERTIDI	30	45	60	75
R1	15-15-15	2.75	5.91	7.16	8.83
R2	TESTIG	1.07	2.12	2.91	3.98
R3	46-00-00	4.44	4.83	9.75	10.93
R4	00-00-60	1.83	1.82	1.89	4.61
R5	26-00-26	3.65	3.64	5.71	6.80
R6	FOLIAR	1.10	2.76	1.86	2.25
R7	18-06-12	8.99	5.34	9.60	5.37
R8	18-46-00	3.80	3.23	6.14	7.43

C. METODO CROMATOGRAFICO

```
SECTION 1: GENERAL
PAGE 1
  ANALYSIS PARAMETERS
  CHANNEL: 1B
  DETECTOR: 1
  CALCULATION: A%
  HT/AREA: A
  STOP TIME:   4.00
  NUMB EXPECTED PKS:   40
  EQUILIBRATION TIME:  0
  UNRETAINED PK TIME:   0.00
  UNIDENT PK FACTOR: 0.000000
  SLICE WIDTH:  10

PAGE 2
  SAMPLE PARAMETERS
  RUN TYPE: L
  SAMPLE ID: R27515
  DIVISOR: 1.000000
  AMT STD: 1.000000
  MLTPLR: 1.000000

PAGE 3
  REPORT INSTRUCTIONS
  WHERE TO REPORT: P1
  COPIES:   1
  TITLE: TE DE LIMON
  FORMAT: N
  DECIMAL PLACE: 2
  RESULT UNITS:
  REPORT UNIDENT PKS: Y
  REPORT INSTRUMENT CONDITIONS: N

PAGE 4
  PLOT INSTRUCTIONS
  PLOT: Y
  REPLOT WITH BASELINES: N
    RAW DATA LOCATION: F
  ZERO OFFSET:  5
  ANNOTATION
    RETENTION TIME: Y
    PLOT CONTROL: Y
    TIME TICKS: Y
    TIME EVENTS: N
    PK START/END: N

PAGE 5
  CHART SPEED
    PAGES OR CM/MIN: C
    INIT VALUE:  2.0

PAGE 6
  PLOT ATTEN
  INIT PLOT ATTEN: 1024


SECTION 2: TIME EVENTS
PAGE 1
   LINE#  TIME  EVENT   VALUE
   1       0.00  PR     100000
   2       0.00  SN          2
   3       0.00  T%        5.0
```

SECTION 7: POST RUN
PAGE 1

LINE#	ACTION	VALUE1	VALUE2	VALUE3
1	SF	RAW	F	TESI3FL

90

SECTION 10: NOTE PAD
PAGE 1

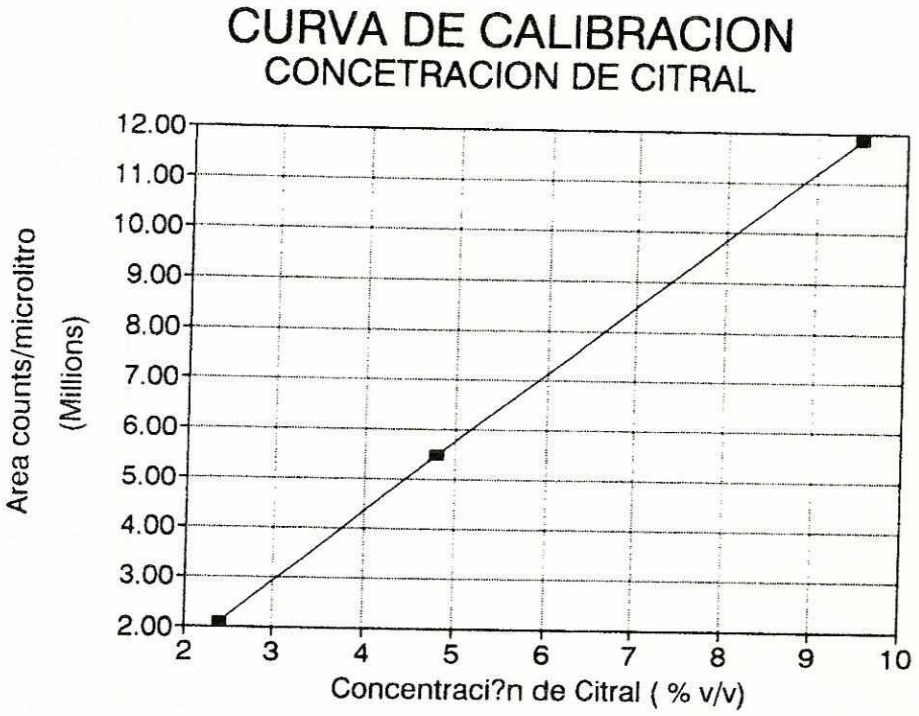
LINE#	VALUE
1	CROMATOGRAFIA DE GASES: ACEITE DE TE DE LIMON
2	COL SP-2100 AL 10% SOBRE 80/100 SUPELCOPORT
3	6 PIE * 1/8 PULG
4	DETECTOR FID, GAS ACARR NITROGENO 15 PSI
5	INY. 235, DET. 250 C, COL 150-190 C RI. 20 C/MIN
6	MANTENER 190 C DURANTE 2.5 MIN. TEMP PROGRAMADA

D. CROMATOGRAMAS

* Muestra en Triplicado

- Identificación de la muestra R87560

Tratamiento:	18-46-00
Tiempo Crecimiento:	75 dias
Tiempo de Extracción:	60 minutos
Volumen inyectado:	2.00 microlitros

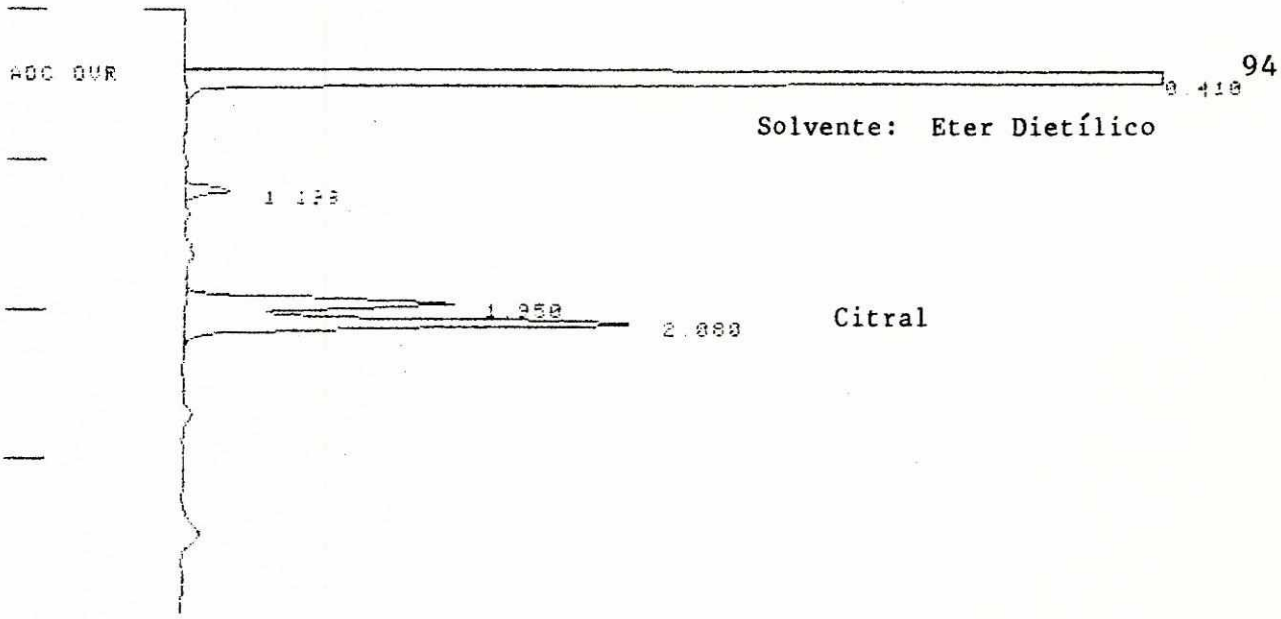


GRAFICA D1

PATRONES

% (V/V)	AREA	VOL (l)	AREA/VOL		REGRES Y = bX +a
2.4	4177174	2.00	2088587	b =	1372710
4.8	10912842	1.99	5483840	a =	-1165787
9.5	23590382	1.99	11854463	r =	0.9999

CHART SPEED 2.0 CM/MIN
ATTEN: 256 ZERO: 5% 1 MIN/TICK



RECALCULATE ON FILE: TESISPL078

CHANNEL: 18 - 1 TITLE: TE DE LIMON 12:07 7 AUG 93

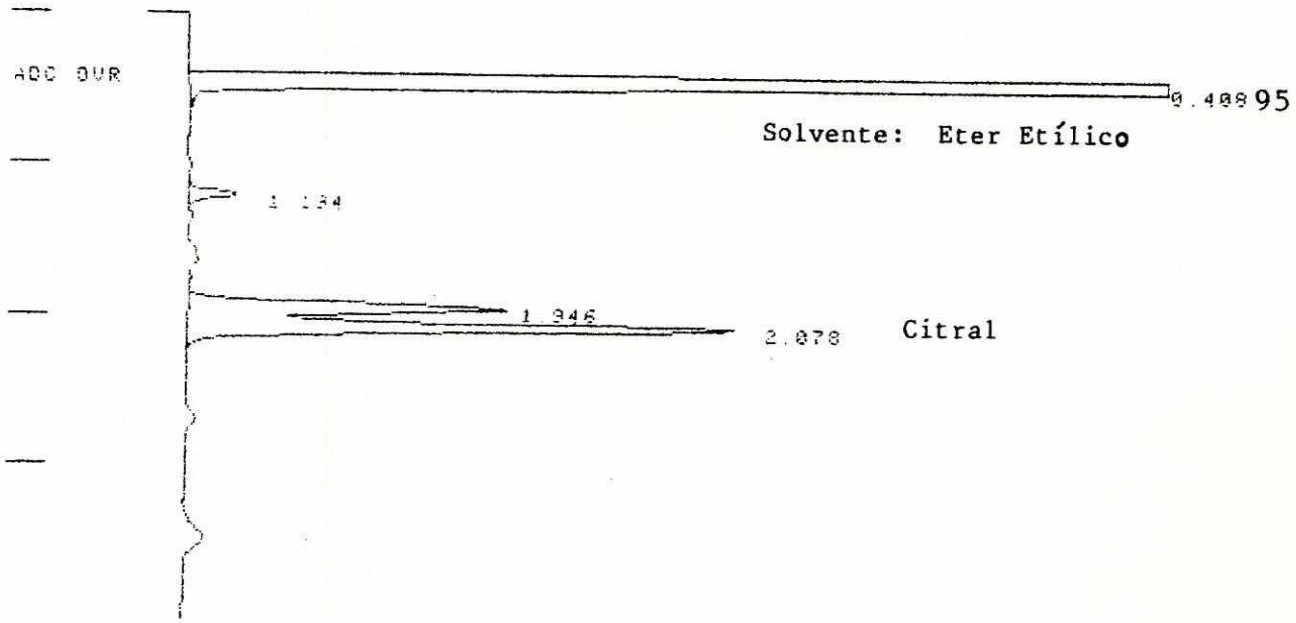
SAMPLE: R875602.00UL METHOD: GCDATA CALCULATION: A% - LEARN

PEAK NO	PEAK NAME	RESULT AREA%	TIME (MIN)	AREA COUNTS	SEP CODE
1		86.96	0.410	56675224	BB
2		0.58	1.198	376087	BB
3		4.77	1.950	3105776	BV
4		7.70	2.080	5016960	VB
TOTALS:		100.00		65174048	

ERRORS:
ADC OVERANGE

NOTES:
CROMATOGRAFIA DE GASES: ACEITE DE TE DE LIMON
COL SP-2100 AL 10% SOBRE 80/100 SUPELCOPORT
6 PIE * 1/8 PULG
DETECTOR FID, GAS ACARR NITROGENO 16 PSI
INY. 235, DET. 250 C, COL 160-190 C RI. 20 C/MIN
TEMPERATURA PROGRAMADA

ATTEN: 256 ZERO: 5% 1 MIN/TICK



RECALCULATE ON FILE: TESISPL080

CHANNEL: 1B - 1 TITLE: TE DE LIMON 12:23 7 AUG 93

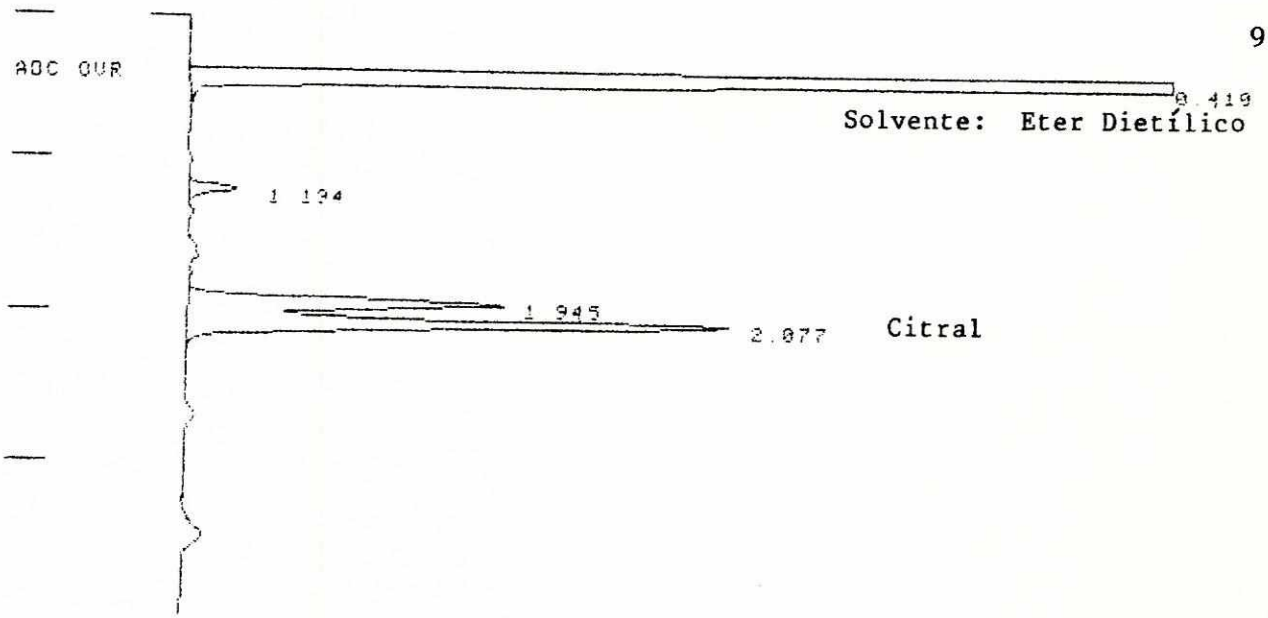
SAMPLE: R875602.00UL METHOD: GCDATA CALCULATION: A% - LEARN

PEAK NO	PEAK NAME	RESULT AREA%	TIME (MIN)	AREA COUNTS	SEP CODE
1		84.64	0.408	55897896	BB
2		0.63	1.194	414724	BB
3		5.59	1.946	3688544	BV
4		9.14	2.078	6037607	VB
TOTALS:		100.00		66038772	

ERRORS:
ADC OVERANGE

NOTES:
CROMATOGRAFIA DE GASES: ACEITE DE TE DE LIMON
COL SP-2100 AL 10% SOBRE 80/100 SUPELCOPORT
6 PIE * 1/8 PULG
DETECTOR FID, GAS ACARR NITROGENO 16 PSI
INY. 235, DET. 250 C, COL 160-190 C RI. 20 C/MIN
TEMPERATURA PROGRAMADA

CHART SPEED 2.0 CM/MIN
ATTEN: 256 ZERO: 5% 1 MIN/TICK



RECALCULATE ON FILE: TESISPL079

CHANNEL: 1B - 1 TITLE: TE DE LIMON 12:15 7 AUG 93

SAMPLE: R875602.00UL METHOD: GCDATA CALCULATION: A% - LEARN

PEAK NO	PEAK NAME	RESULT AREA%	TIME (MIN)	AREA COUNTS	SEP CODE
1		84.76	0.410	55408864	BB
2		0.63	1.194	411634	BB
3		5.55	1.945	3630481	BV
4		9.06	2.077	5922502	VB
TOTALS:		100.00		65373484	

ERRORS:
ADC OVERANGE

NOTES:
CROMATOGRAFIA DE GASES: ACEITE DE TE DE LIMON
COL SP-2100 AL 10% SOBRE 80/100 SUPELCOPORT
6 PIE * 1/8 PULG
DETECTOR FID, GAS ACARR NITROGENO 16 PSI
INY. 235, DET. 250 C, COL 160-190 C RI. 20 C/MIN
TEMPERATURA PROGRAMADA

* Muestra en Triplicado

- Identificación de la muestra R87560

Tratamiento:	18-46-00
Tiempo Crecimiento:	75 dias
Tiempo de Extracción:	60 minutos
Volumen inyectado:	2.00 microlitros