



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

DETRMINACIÓN DEL CONJUNTO DE VARIABLES ADECUADAS DEL
SECADO DE LA PLANTA DE APAZOTE (*Chenopodium
ambrosioides* L.) POR MEDIO DE LA EVALUACIÓN DE LAS
PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL EXTRACTO ORGÁNICO

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA

DE LA

FECULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

GAYLORD UBALDO SAC COTÍ

PREVIO A OPTAR AL TÍTULO DE

INGENIERO QUIMICO

GUATEMALA, MAYO DE 1, 997

08
+ (4048)
C-4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con lo establecido por la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

DETERMINACION DEL CONJUNTO DE VARIABLES ADECUADAS DEL SECADO DE LA PLANTA DE APAZOTE (*Chenopodium ambrosioides* L.) POR MEDIO DE LA EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL EXTRACTO ORGANICO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, mayo de 1,997.


Gaylord Ubaldo Sac Cotí

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	<i>Ing. Herbert René Miranda Barrios</i>
Vocal 1o.	<i>Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra</i>
Vocal 2o.	<i>Ing. Jack Douglas Ibarra Solorzano</i>
Vocal 3o.	<i>Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez</i>
Vocal 4o.	<i>Br. Víctor Manuel Lobos Aldana</i>
Vocal 5o.	<i>Br. Wagner Gustavo López Cáceres</i>
SECRETARIA	<i>Lic. Gilda Marina Castellanos de Ilescas</i>

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO**

DECANO	<i>Ing. Julio Ismael González Podszueck</i>
EXAMINADOR	<i>Ing. Julio Chávez Montúfar</i>
EXAMINADOR	<i>Ing. Manuel Tay Droxom</i>
EXAMINADOR	<i>Ing. Williams Alvarez Mejía</i>
SECRETARIO	<i>Ing. Francisco Javier González López</i>

Guatemala, 29 de noviembre de 1,996

Dr. Adolfo Gramajo
Director de la Escuela de Ingeniería Química,
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Doctor Gramajo:

Por este medio me permito hacer de su conocimiento que habiendo tenido a la vista el trabajo final de investigación del estudiante Gaylord Ubaldo Sac Coti, CARNET 89-16288; titulado: "DETERMINACION DEL CONJUNTO DE VARIABLES ADECUADAS DEL SECADO DE LA PLANTA DE APAZOTE (*Chenopodium ambrosioides* L.) POR MEDIO DE LA EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DEL EXTRACTO ORGANICO", habiendo realizado la revisión del mismo, considero que dicha investigación de graduación profesional es satisfactoria, por lo que otorgo la aprobación respectiva como asesor de tesis.

Agradeciendo la atención que le sirva dar a la presente me suscribo de usted.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Dr. Victor Quiroa
ASESOR

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Ref. WGAM.005.97

Guatemala, 10 de febrero de 1997

Ingeniero
Julio Chávez Montufar
Director
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Chávez:

Por este medio me dirijo a usted para comunicarle que he revisado el informe final de tesis del estudiante universitario GAYLORD UBALDO SAC COTI, quien realizó el trabajo titulado "DETERMINACION DEL CONJUNTO DE VARIABLES ADECUADAS DEL SECADO DE LA PLANTA DE APAZOTE (*Chenopodium ambrosioides* L.) POR MEDIO DE LA EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DEL EXTRACTO ORGANICO", la cual fue asesorada por el Dr. Víctor Quiroa,

Al respecto, me permito informarle que después de haber terminado la revisión del mencionado informe y de haberle hecho las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para ser aprobada por parte de la Escuela como trabajo de tesis, por lo cual se lo remito y lo pongo a su consideración.

Agradeciendo la atención a la presente, le saluda respetuosamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

MIQ e Ing. Williams G. Alvarez Mejía
Profesor Titular IV
Area de Operaciones Unitarias

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

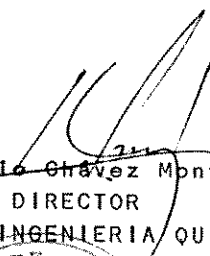


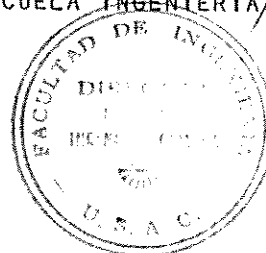
FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Química, Ing. Julio Chávez Montúfar, después de conocer el dictamen del asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo de Tesis del estudiante **Gaylord Ubaldo Sac Coff**, titulado: **DETERMINACION DEL CONJUNTO DE VARIABLES ADECUADAS DEL SECADO DE LA PLANTA DE APAZOTE (*Chenopodium ambrosioides* L.) POR MEDIO DE LA EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL EXTRACTO ORGANICO**, procede a la autorización del mismo.


Ing. Julio Chávez Montúfar
DIRECTOR
ESCUELA INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, 7 de mayo de 1,997.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



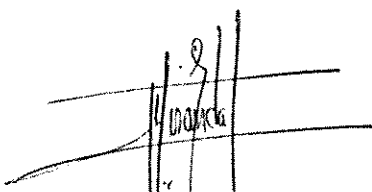
FACULTAD DE INGENIERIA

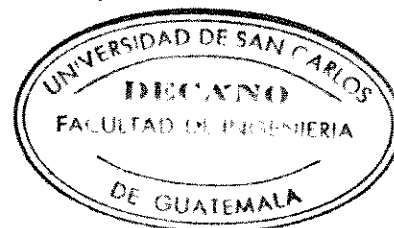
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de Tesis titulado: **DETERMINACION DEL CONJUNTO DE VARIABLES ADECUADAS DEL SECADO DE LA PLANTA DE APAZOTE (*Chenopodium Ambrosioides L.*) POR MEDIO DE LA EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL EXTRACTO ORGANICO** del estudiante, **Gaylord Ubaldo Sac Cotí**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert René Miranda Barrios
DECAÑO



Guatemala, 7 de mayo de 1,997.

ACTO QUE DEDICO

A MIS PADRES:

Mario Joel Sac
Rosa María Cotí de Sac

Con infinito cariño y agradecimiento, por el sacrificio, y el apoyo que me brindaron durante mis estudios.

A MIS HERMANOS: Rosa Goretti, Mariela Carolina y Mario Joel

A MIS ABUELOS:

Agustín Sac
Aurora Elena de Sac
Rogelio Cotí
Isabel de Cotí (Q.E.P.D)

A LA MEMORIA DE MI TIA Guadalupe Aracely

A MI NOVIA: Luz María de los Angeles Roldán, con amor.
Por ser mi apoyo durante ésta última etapa de mi carrera.

A MIS AMIGOS DE CARRERA: Byron, Ricardo, Neil, Walter Cobón, Walter Ortíz, Saúl, Víctor, Ronald, Hugo, John, Angel, José, Juan Antonio, Luis Fernando, Por esa amistad sincera y por cada historia inolvidable tejida dentro y fuera de la universidad.

A MI CIUDAD: Quetzaltenango, por haberme permitido nacer bajo su cielo.

AGRADECIMIENTO

A DIOS, Por guardarme cada día y por su infinita misericordia al permitirme concluir mis estudios.

Al Dr. Víctor Quiroa Noriega, por su gran ayuda como asesor de éste trabajo de investigación.

Al personal de los laboratorios de Química de la Escuela de Formación de Profesores de Enseñanza Media de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Del Valle de Guatemala por la facilidades para la realización de la parte experimental de esta investigación.

Al Ingeniero: Williams Guillermo Alvarez, por los aportes a éste trabajo de investigación.

ÍNDICE:

	CONTENIDO	PAGINA
0.	<i>Introducción</i>	1
1.	<i>Resumen</i>	2
	<i>Glosario</i>	3
2.	<i>Antecedentes</i>	4
3.	<i>Justificaciones</i>	26
4.	<i>Objetivos</i>	29
5.	<i>Hipótesis</i>	30
	<i>Hipótesis estadística</i>	31
6.	<i>Metodología de la investigación</i>	32
	6.1. <i>Localización</i>	32
	6.2. <i>Materiales y equipo</i>	32
	6.3. <i>Metodología experimental</i>	34
7.	<i>Análisis estadístico</i>	37
8.	<i>Resultados</i>	40
9.	<i>Discusión de resultados</i>	41
10.	<i>Conclusiones</i>	49
11.	<i>Recomendaciones</i>	50
12.	<i>Bibliografía</i>	51
13.	<i>Referencias</i>	53
14.	<i>Apéndice</i>	
	<i>Guías de cálculo</i>	54
	<i>Tablas</i>	58
	<i>Figuras</i>	68

0. INTRODUCCIÓN:

A la planta de apazote (*Chenopodium abrosioides* L.) a través de la historia, principalmente en el continente americano, se le ha atribuido propiedades medicinales; y además es utilizado como sazonador de comidas. En años recientes éstas propiedades medicinales se han comprobado farmacológicamente. El aceite esencial que la planta posee es llamado aceite de quenopodio, cuyo principal componente es el ascaridol.

Debido a que los vegetales se conservan por muy poco tiempo en óptimas condiciones para consumo, una solución práctica para hacerlos más durables es la deshidratación. De esta manera se inhibe el crecimiento de microorganismos los cuales degradan la planta, aumentando la duración de validez para el consumo humano, y facilitando la comercialización del mismo.

Para aprovechar mejor las valiosas propiedades que posee esta planta, éste trabajo de investigación se ha realizado con el objetivo de evaluar la factibilidad de crear un método de secado, el cual consiste en la utilización de un secador de túnel de contacto directo, alternativo al secado tradicional (secado al sol), y de esta manera hacer más efectivo el proceso, en menor tiempo y con un producto de mejor calidad. La metodología empleada es secar la planta por ambos métodos de secado y comparar entre sí determinadas propiedades fisicoquímicas de los respectivos extractos obtenidos.

1. RESUMEN:

El presente trabajo de investigación evalúa la factibilidad de secar la planta de apazote en un secador de túnel de contacto directo; y evalúa el efecto de la temperatura de secado dentro del secador; mediante la comparación con el método tradicional de secado (secado al sol). Dicha comparación se hace a través de las propiedades fisicoquímicas, y del rendimiento de los aceites esenciales extraídos de las plantas secas.

Las propiedades fisicoquímicas, así como el porcentaje de rendimiento para cada aceite extraído son analizadas estadísticamente con el método de análisis de varianza con un solo factor, ya que sólo se ha evaluado el método de secado con tres distintos tratamientos (secado al sol, y tres temperaturas distintas dentro del secador). La velocidad del aire de secado fue un factor constante.

Al analizar tales resultados se determina que no hay variación de las propiedades fisicoquímicas entre los dos métodos de secado, así como tampoco con la temperatura del aire dentro del secador; no así el porcentaje de rendimiento, en el cual existe variación significativa tanto con el método así como dentro de las temperaturas de secado.

Con el porcentaje de rendimiento se ha realizado la prueba de intervalos múltiples de Dúncan para analizar el efecto que produce cada tratamiento.

Con estos resultados se concluye en que el método de secado por medio de secador de túnel es mejor que el método de secado al sol.

GLOSARIO:

Antiespasmódico: agente con propiedades para calmar los espasmos o desórdenes nerviosos.

Antifúngica: propiedad del agente que destruye los hongos.

Anti helmíntico: agente capaz de extinguir los parásitos de la especie helmíntica.

Apoplejía: detención de la acción cerebral súbita causada por derrames sanguíneos.

Detritus: resultado de la descomposición de una masa sólida en partículas.

Diurético: propiedad de que posee una sustancia o fármaco capaz de aumentar la secreción y excreción de orina.

Emenagogas: propiedad del agente que provoca la evacuación menstrual.

Espasmo: contracción muscular involuntaria, exagerada y persistente, que puede localizarse tanto en los músculos estriados voluntarios, como en las fibras musculares lisas involuntarias de los órganos internos.

Estomático: perteneciente al estómago.

Febrífugo: agente capaz de quitar la fiebre.

Gastroenteritis: inflamación de la mucosa gástrica.

Oblongolanceoladas: más largo que ancho.

Oleoso: aceitoso

Vermífugo: propiedad del agente capaz de expulsar los gusanos intestinales.

2. ANTECEDENTES:

2.1. GENERALIDADES DEL APAZOTE:

A. CLASIFICACIÓN BOTÁNICA:

Reino:	<i>vegetal</i>
Sub-Reino:	<i>embryobionta</i>
División:	<i>magnoliophyta</i>
Clase:	<i>magnoliopsida</i>
Subclase:	<i>caryophyllidae</i>
Orden:	<i>caryophyllales</i>
Familia:	<i>chenopodiaceae</i>
Género:	<i>chenopodium</i>
Especie:	<i>chenopodium ambrosioides L.</i>
Nombre común:	<i>apazote</i>
Sinónimos:	<i>apasote, epazote, epasote, ipazote, pasota</i>

(Ref. 4)

B. DESCRIPCIÓN:

El *Chenopodium ambrosioides L.*, planta anual o perenne, erectas o ascendentes, es una planta herbácea de fuerte aroma especial, ramosa, arbustífera; tallo acalanado, rojizo. Hojas alargadas, alternadas, casi sin tallo, oblongolanceoladas; punteadas por glóbulos de aceite; las superiores son pequeñas, enteras; las inferiores, son finamente dentadas. Flores pequeñas amarillo-verdosas, se producen en espigas largas, delgadas, acaudaladas y terminales de color blanco. Semillas horizontales o verticales, de 0.6-0.8 mm. de ancho, pequeñas, lentiformes, de color negro brillante,

contenidas en un cáliz que huele al secarse. (Ref. 3)

Nativa de la América tropical. Diseminada en climas ligero templado, subtropical y tropical del mundo hasta 2700 m.s.n.m; extendida en toda temperatura moderada de los Estados Unidos, las Indias Occidentales y en todas las regiones cálidas del mundo. En Guatemala, crece en tierra no muy húmeda; en terrenos pedregosos y soleados, principalmente en la región oriente, altiplano central y occidental del país. (Ref 3)

Es una planta que crece en forma silvestre y a veces se cultiva. Se propaga por semilla o estaca que se siembra directamente en terreno definitivo. Prefiere terreno arenoso, pedregoso y tierra húmeda a pleno sol. Se ha demostrado que los niveles de apazote aumentan en las zonas secas; y se cultiva mejor en suelos polvorientos y margos. Las semillas se siembran en hileras separadas entre sí por 1 a 1.20 metros y se cubren de una manera ligera. Para obtener una buena cosecha es importante el cultivo poco profundo entre hileras. Cuando se cultiva con el fin de obtener las semillas, se debe recoger la cosecha justamente antes que las mismas tomen color pardo. Las plantas se siegan y se secan al calor, después de lo cual se recogen las semillas y se limpian, pasándolas por tamices de tela metálica. Cuando la planta se cultiva con el fin de obtener aceite, una vez que ha madurado hasta el grado de haberse oscurecido la mayor parte de las semillas, se cortan las plantas. (Ref. 7 y 15)

Experimentos con fertilizantes que contienen nitrógeno-fósforo y potasio han determinado que el mayor incremento en ascaridol, cerca del 20%, fue obtenido usando una alta proporción de potasio. Un buena proporción balanceada de fósforo y nitrógeno asegura la correcta maduración de planta,

ya que si la maduración se retarda tiende a bajar el contenido de ascaridol en el aceite. La proporción de nitrógeno, fósforo y potasio debe ser de 3:12:6 o 2:9:5, si la planta es cultivada en suelo apropiado, pero si se cultiva en otros tipos de terreno, la proporción debe ser apreciablemente más alta en potasio.

Se ha demostrado que la planta desarrolla su más alto contenido de aceite durante el período de polinización. El aceite en esta época, sin embargo, es muy bajo en el contenido de arcaridol, y contiene mayormente p-cimeno. El aceite de las plantas floreciendo contienen de 6 a 10 por ciento de ascaridol, mientras que de la hierba con la semilla parcialmente madura contiene de 6 a 20 por ciento, y con la semilla completamente madura de 50 a 96 por ciento, con muy poco p-cimeno. La solubilidad del aceite en 70 por ciento de alcohol mejora con el contenido de ascaridol. Posteriores investigaciones han demostrado que una sustancial porción de ascaridol se forma al final del período floreciente. El más alto contenido de ascaridol se encontró en las plantas maduras, en el punto en donde la semilla se torna negra.

Después de cortadas las plantas son dejadas en campos para secarlas. Esto requiere de unos pocos días, hasta una semana; dependiendo del ambiente. La pérdida de peso de la planta es de aproximadamente el cincuenta por ciento. Investigaciones han demostrado que el secado de la planta resulta en un marcado incremento en el contenido de ascaridol. Tales investigaciones concluyen que el ascaridol es sintetizado del p-cimeno no sólo durante el desarrollo de la planta, sino durante el proceso de secado, posiblemente por acción enzimática. (Ref. 7)

C. USOS MEDICINALES POPULARES:

En medicina natural, la decocción de las hojas y semillas del apazote se usa en quemaduras, raspones, infecciones de la piel, asma, malaria, catarro, afecciones nerviosas como la corea (baile de San Vito), ferbrífugo, dolor de muelas y desordenes menstruales. Se le atribuyen propiedades diuréticas, sudoríficas, desinflamantes, emenagogas como vermífugo y antifúngicas. Utilizada como remedio contra los trastornos y daños renales y la apoplejía. Ampliamente usada en el tratamiento de afecciones gastrointestinales; particularmente, para tratar parasitosis intestinales, inapetencia, indigestión, diarrea y disentería, para tratar afecciones del hígado. El aceite es antibacteriano, antihelmíntico, antimalárico, carcinógeno, depresor cardíaco, hipotensor, relajante muscular y estimulante respiratorio. (Ref 3 y 13)

D. ACTIVIDAD FARMACOLÓGICA COMPROBADA:

La parte medicinal de la planta son las hojas y flores. Se ha demostrado que el aceite contiene un principio llamado ascaridol, el cual tiene propiedades antihelmínticas (acción narcótica, paralizante y expulsar lombrices), principalmente contra áscaris lumbricoides y ancilostomas, y propiedades emenagogas (regular la menstruación y calmar el dolor). Se ha demostrado además que la planta tiene actividad estomática, digestiva y tónica. Estudios demuestran que tienen actividad contra amebas, hongos y paludismo. (Ref. 11)

Estudios realizados en Guatemala demuestran que la decocción de la planta tiene ligera actividad diurética. (Ref 3)

En la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia se han hecho estudios de

la actividad antiespasmódica (Ref. 2), así como la actividad cicatrizante de los tallos, hojas, flores y semillas; con resultados positivos. (Ref. 5)

La planta de apazote en mesoamérica también es ampliamente utilizado como condimento en comidas.

E. EFECTOS ADVERSOS

La dosis excesiva de este aceite han causado dolor de cabeza, náusea, alucinaciones, gastroenteritis, vértigos, vómitos, disturbios del sistema nervioso central, debilidad, convulsiones, daños del hígado y riñón, parálisis, coma y fatalidades en humanos y ganadería. La planta dosis excesiva son peligrosa en individuos débiles; anémicos; ancianos; y mujeres embarazadas, ya que se cataloga como abortiva (Ref. 13)

F. COMPONENTES QUÍMICOS DE LA PLANTA DE APAZOTE:

La planta contiene saponinas, geraniol, alcanfor, cimenol, limoneno, terpireno, mirceno, ácido butírico, spinasterol, metilsalicilato, sulfato y fosfato de magnesio, sapogenina de quenopodio (un pentacíclico terpenoide) y ureasa. En 100 g la planta se encuentra calcio (342 mg), hierro (8.6 mg), caroteno (3.5 mg), riboflavina (0.29 mg) y ácido ascórbico (99 mg). (Ref. 3).

Las hojas y flores contienen 0.35- 1% de aceite esencial y los frutos de 0.6-3% La raíz contiene heterósidos triterpénicos. (Ref. 13)

2.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL:

Los aceites esenciales no pueden ser caracterizados por su estructura molecular, pues no poseen ningún grupo funcional especial. Una definición

absolutamente científica de los aceites volátiles es difícilmente posible; más para todos los fines prácticos pueden ser definidos como cuerpos odoríficos de naturaleza oleosa, obtenidos casi exclusivamente de fuentes vegetales, generalmente compuestos orgánicos líquidos algunas veces semisólidos o sólidos a las temperaturas ordinarias y de alta volatilidad. El término aceite esencial es utilizado, en general, para designar aquellas sustancias volátiles obtenidas por la extracción de determinada especie vegetal. La gran variedad de compuestos contenidos en los aceites esenciales pueden clasificarse en cuatro grupos:

1. Compuestos de la serie terpénica.
2. Compuesto acíclicos sin ramas laterales.
3. Derivados del benceno.
4. Otros compuestos de diversa estructura química

De estos compuestos depende las grandes diferencias de olor observadas en varios aceites esenciales. (Ref 1)

El aceite de quenopodio es un líquido incoloro o de amarillo pálido o anaranjado, con olor peculiar y sabor ardiente y amargo que le da las características especiales al apazote; esta esencia es inestable al ser calentada, tiende a explotar a temperaturas arriba de los 100° C a presión ordinaria o por tratamiento con ácidos orgánicos; y sufre rearreglo molecular al ser calentado arriba de los 150° C. Es por ello que tiende a descomponerse por ebullición con agua, y destilación debe llevarse por ello lo más rápido posible. Debe protegerse de la luz, mantenerse bien cerrado, temperaturas frías (Ref. 14)

Las características del aceite de quenopodio son: gravedad específica

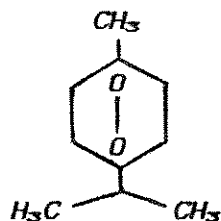
de d^{25}_{25} 0.950-0.980; rotación de -4° a -8° en un tubo de 100 mm a 20° ; índice de refracción a 20° C: n^{20}_D 1.4723-1.4790. Es insoluble en agua, soluble en 3 a 10 partes de alcohol al 70%, parcialmente soluble en ácido acético, y muy soluble en hexano, cloroformo y éter. (Ref. 13)

Sin embargo las características de extractos de Maryland, Estados Unidos y Brasil, que son las regiones donde en años anteriores existía gran producción varía de la siguiente manera: gravedad específica, d^{25}_{25} 0.937-0.990, rotación óptica a 25° : $\alpha = -4^{\circ}20'$ a $-12^{\circ}27'$, índice de refracción a 20° C: n^{20}_D 1.4741-1.4778, contenido de ascaridol: 71.6-91%, soluble en 2 a 10 partes de alcohol al 70%. Los aceites también presentan rotación óptica hasta de $-0^{\circ}20'$ y $-0^{\circ}7'$, (Ref. 7)

El aceite esencial de la planta de apazote es llamado aceite de quenopodio el cual a su vez está compuesto principalmente por ascaridol (terpen peróxido insaturado derivado del p-cimeno, que representa desde un 42% hasta un 90% del aceite) y una mezcla de hidrocarburos: p-cimeno, alfa-limoneno, d-alcanfor, terpireno, mentadieno y cineol. Pequeñas cantidades de alcanos, de ácidos grasos volátiles (ácido butírico); 0.5% de silicato de metilo. (Ref. 3 y 14)

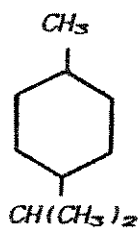
Ascaridol: 1,4-Peróxido -p-menteno-2. $C_{10}H_{16}O_2$, peso molecular 168.24. Es un peróxido orgánico (peróxido de terpeno), sintetizado de alfa terpireno por tratamiento con oxígeno, clorofila y luz. Aceite amarillo pálido. propenso a explotar cuando es calentado o tratado con ácidos orgánicos. d^{20}_4 1.0103, d^{20}_{20} 1.0113. Punto de ebullición $39-40^{\circ}$ a presión de 0.2 mm-Hg y $113-114^{\circ}$ C a 100 mm-Hg. Punto de fusión de 3.3° ; Índice de rotación, α^{20}_D $\pm 0.00^{\circ}$.

Insoluble en agua. Soluble en hexano, pentano, etanol, tolueno, benceno, aceite de castor.



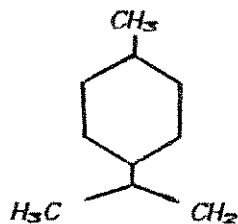
(Ref. 14)

p-Cimeno: p-isopropil-tolueno, C₁₀H₁₄, peso molecular 134.21. Líquido incoloro, miscible con alcohol y éter. d²⁰₄ 0.857. Punto de ebullición 177°. Punto de fusión -72°. Rotación Óptica, n²⁰_D 1.4904.



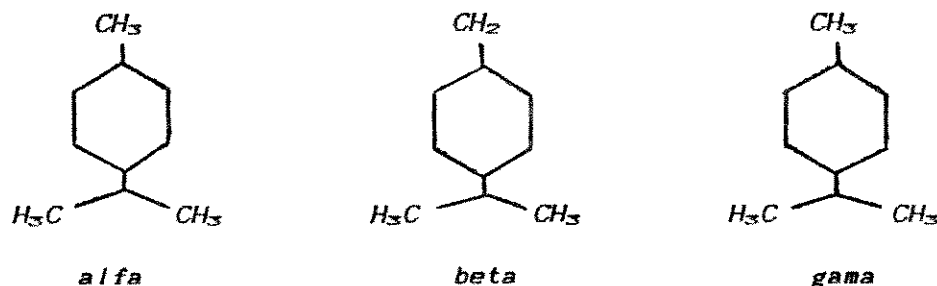
(Ref. 14)

alfa-limoneno: C₁₀H₁₆ dipentreno, peso molecular 136.23 presente en varios aceites, particularmente en el aceite de apazote, junto con cineol; también en aceite de pino, líquido incoloro, con agradable olor a limón, insoluble en agua, miscible con éter y alcohol. d²⁰₄ 0.840. Punto de ebullición 176-178°. n²⁰_D 1.4730.



(Ref. 14)

Terpireno: $C_{10}H_{16}$, Peso molecular 136.23. Existe como mezcla de tres hidrocarburos isoméricos: alfa, beta y gama. Aceite con placentero olor a limón; insoluble en agua, misible en alcohol entre otros.



(Ref. 14)

Alcanfor: $C_{10}H_{16}O$, Peso molecular 152.23. Cetona terpénica bicíclica saturada que existe en dos formas dextro y levo ópticamente activas y como mezcla racémica de estas dos formas, la dextro se obtiene de madera y corteza del árbol de alcanfor, mientras que la levo se encuentra algunas esencias y la forma inactiva se obtiene del crisantemo asiático o se sintetiza a partir de ciertos terpenos. (Ref. 14)

2.3. MÉTODOS GENERALES PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES:

Hay tres métodos de producción de aceites volátiles: destilación con vapor de agua (Hidrodestilación), expresión y extracción. (Ref. 8)

A. HIDRODESTILACIÓN:

La destilación con vapor de agua es el método más común para separar los aceites esenciales del material de la planta. La expresión "hidrodestilación" abarca los tres tipos que se describen a continuación:

- a. *Destilación con agua*
- b. *Destilación con agua y vapor*
- c. *Destilación con vapor directo*

a. *Destilación con agua:* Con la aplicación de este método, el material está en contacto directo con el agua hirviendo; éste puede flotar en el agua o estar completamente inmerso, lo cual depende de la gravedad específica y la cantidad de material por carga. El agua es hervida por aplicación de calor por métodos usuales. Este método se emplea con frecuencia para la destilación del aceite de pétalos (aceite de azahar y aceites de rosas); donde el material de la planta no se aglutina en pellas que el vapor no pueda penetrar.

b. *Destilación con agua y vapor:* el material es soportado sobre una red perforada o una reja insertada una distancia sobre el fondo del destilador. La parte baja del destilador es llenada con agua a un nivel un poco abajo de la red y el agua es calentada por alguno de los métodos usuales. Las características típicas de este método son que el vapor está siempre saturado, húmedo y nunca sobrecalentado; y el material está en contacto solamente con el vapor y no con el agua hirviendo.

c. *Destilación con vapor:* el tercer método conocido como destilación con vapor o destilación con vapor directo, es semejante al anterior. El vapor se genera en una caldera separada (se emplea vapor seco); en algunos casos, se introduce vapor recalentado a presión ligeramente superior a la atmosférica, el cual sale por los orificios de un serpentín situado bajo la carga.

Considerando los principios fundamentales de la destilación de dos líquidos inmiscibles, poca diferencia puede haber en estos tres métodos de hidrodestilación; pero en la práctica intervienen factores importantes. El aceite esencial no está distribuido por igual en el material de la planta, sino que se haya en muchas pequeñas glándulas de aceite o sacos oleíficos. Para que el vapor se ponga en contacto con el aceite, hay que desgarrar los tejidos y romper las membranas de las glándulas o hacer que el aceite se difunda a través de estas membranas. Este proceso complejo de difusión y ósmosis recibe el nombre de hidrodifusión. La destilación con vapor recalentado tiende a impedir la hidrodifusión; la destilación en agua la facilita.

Por medio de ensayos se ha averiguado qué método de destilación es mejor para cada aceite esencial. A pesar de que muchos aceites esenciales son extraídos por estos procesos de destilación, debido a su relativa larga acción del vapor o el agua en su punto de ebullición, para muchas plantas estos procesos ocasionan efectos adversos a sus componentes más delicados. Los principales efectos adversos son la hidrólisis de ciertos componentes del aceite esencial, la polimerización, la racemificación y la descomposición de sus más delicados componentes ocasionada por el calor, que provoca la larga acción del vapor o el agua hirviendo.

Cuando por hidrodestilación prácticamente la producción de aceite esencial es baja, o la calidad no es la apropiada, estos métodos son inútiles. Por lo tanto, flores de este tipo tienen que ser procesadas por otros métodos de extracción.

B. EXPRESIÓN:

Los aceites de los frutos cítricos se obtienen por expresión. El aceite esencial está contenido en numerosas celdillas ovales distribuidas en el epicarpio (parte coloreada exterior de la corteza). Exprimiendo la corteza se rompen las celdillas y sale de ellas el aceite, que se recoge como líquido turbio con el agua de las células y detritus celulares. El aceite se separa y clarifica por decantación, centrifugación u otro procedimiento.

C. EXTRACCIÓN:

Como se mencionó anteriormente, ciertas plantas no producen aceite directamente por destilación. O bien el aceite se destruye con la acción del vapor, o las pequeñas cantidades de aceite realmente destilado están completamente disueltas en el gran volumen de agua de destilación. Para este tipo de plantas deben emplearse métodos diferentes. La extracción puede hacerse con grasa fría (enfloración), con grasa caliente (maceración) o con solventes volátiles.

a. Enfloración: el uso de este método es restringido a flores como jazmín, tuberosa y algunas otras que después de cortadas continúan con su actividad fisiológica formando y emitiendo perfume. El método de extracción con grasa fría es sencillo y consiste en colocar las flores en contacto con una delgada capa de grasa dentro de pequeñas cámaras. El perfume desprendido de las flores, se fija en la grasa, debido a su gran afinidad, los pétalos veinticuatro horas sobre la grasa (cuerpo), luego se reemplaza por nuevos. Pasados 60 días, aproximadamente, al final del periodo de recolección, la

grasa llega a estar saturada con el aceite de la flor. La extracción alcohólica de la grasa olorosa, llamada pomada, da una solución llamada extracto; eliminando el alcohol por destilación, se produce el absoluto de enfloración.

b. *Maceración:* como la mayor parte de las flores dejan de producir perfume después de recolectadas, se pueden emplear ventajosamente otros métodos distintos de la enfloración. Uno de ellos es la maceración, o extracción con grasa caliente.

El método es, en general, parecido a la enfloración, salvo que los pétalos se sumergen en grasa caliente en lugar de ser extendidos sobre un recipiente. Antes de la aparición de extracción con solventes volátiles la maceración se empleó con más frecuencia. En general, los productos de la maceración son de calidad inferior a los de la extracción con solventes volátiles.

c. *Extracción con solventes volátiles:* la extracción con solventes, es usado hoy para la extracción de plantas en varios países. Es técnicamente el más avanzado. Está basado en el hecho de que los solventes volátiles (éter etílico, benceno, hexano, alcohol, etc) penetran rápidamente en las hojas, flores, pétalos; y disuelven casi todas las sustancias odoríficas naturales.
(Ref. 8)

Preparación del material: la apropiada preparación del material vegetal es de gran importancia en la producción de los aceites esenciales. La trituración expone más glándulas de aceite esencial y reduce el grueso del material; esto permite una destilación más rápida, mayor rendimiento y mejor

calidad del aceite esencial, al mismo tiempo que menor consumo del solvente. El grado de trituración para cada planta hay que aprenderlo por experiencia. Es claro que el material desmenuzado debe ser destilado lo más pronto posible para reducir al mínimo la pérdida del aceite esencial por evaporación.

Se ha verificado que la mayor parte del aceite esencial fácilmente extraíble proviene de las células que se rompen durante los procesos de trituración, cocción, presión, y laminado, extracción por solución (aceite obtenido de las células rotas); mientras que la fracción más difícil de extraer proviene de las células enteras o rotas parcialmente, extracción por difusión. (Ref. 7)

Selección del solvente: para una eficiente extracción con solventes, es necesaria una adecuada selección del mismo, el cual debe cumplir con las siguientes características:

1. Este debe disolverse rápidamente.
2. Debe ser de un punto de ebullición lo suficientemente bajo para permitir su remoción fácilmente (destilado), sin recurrir a altas temperaturas; el punto de ebullición no debe ser muy bajo, ya que esto implicaría considerables pérdidas de solventes por evaporación en climas cálidos.
3. El solvente no debe ser soluble en agua, ya que el agua que contienen las plantas se disolvería y se acumularía en el solvente.
4. El solvente debe ser químicamente inerte, y no reaccionar con los componentes del aceite esencial.
5. El solvente cuando se evapora no debe dejar ningún residuo; los ligeros rastros de componentes de alta ebullición arriba de la evaporación del solvente se acumularían y permanecerían en el aceite esencial de las flores, y

dañarían completamente el aroma. (Ref. 1).

La selección final del solvente va depender exclusivamente de los componentes químicos del aceite esencial. Por ejemplo, al analizar, los componentes del aceite de quenopodio se determina que todos los componentes principales son infinitamente solubles en hexano, éter etílico, benceno y alcohol isopropílico; en experiencias anteriores las extracciones se han realizado en éter etílico; sin embargo, por su solubilidad parcial en clorofila y agua (7.5% en agua), en el extracto final hay presencia de estos componentes, lo que representa problemas de separación. El solvente seleccionado para la extracción en el presente estudio es el hexano.

EL n-hexano (C_6H_{14}) posee un punto de ebullición de 68.7° , una solubilidad en agua de .014% a 15° C., y al igual que todos los alcanos es insoluble en disolventes de alta polaridad; lo que permite ser eliminado fácilmente por destilación, sin arrastrar los componentes del aceite esencial; y la no extracción de clorofila; y del agua que pudiera poseer la planta.

2.4. GENERALIDADES SOBRE SECADO

Esta operación unitaria se define como la separación de un líquido volátil de un sólido. El término secado se usa generalmente con referencia a la eliminación de agua de los materiales de proceso y otras sustancias; se usa también con referencia a la eliminación de otros líquidos orgánicos, tales como benceno o disolventes orgánicos, de los materiales sólidos. En general, el secado significa la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas, de un cierto material. La evaporación se refiere a la eliminación de cantidades de agua bastante grandes. En la evaporación, el agua se elimina en

forma de vapor a su punto de ebullición. En el secado, el agua casi siempre se elimina en forma de vapor con aire. En algunos casos, el agua puede eliminarse de los materiales sólidos por medios mecánicos utilizando prensas, centrifugas y otros métodos; esto resulta más económico que el secado por medios térmicos para la eliminación del agua, sin embargo no siempre es aconsejable, el secado de plantas es uno de éstos en que es inconveniente.

El secado de sólidos incluye dos procesos fundamentales y simultáneos: 1) se trasmite calor para evaporar el líquido y 2) se transmite masa en forma de líquido o vapor dentro del sólido y como vapor desde la superficie. Los factores que regulan las velocidades de estos procesos determinan la rapidez o índice de desecación. Los secadores comerciales defieren fundamentalmente en los métodos de transferencia de calor utilizados. Estas operaciones de secado industrial podrán utilizar transferencia de calor por convección, conducción, radiación o una combinación de éstos. Sin embargo, en cada caso, el calor debe fluir hacia la superficie externa y luego al interior del sólido. La única excepción es el desecado dieléctrico y de microondas, en donde la electricidad de alta frecuencia genera calor interiormente creando una temperatura elevada dentro del material y en su superficie.

El contenido de humedad del producto seco final varía ya que depende del tipo de producto, y de las propiedades higroscópicas o no del material por secar, cuando éste queda expuesto al ambiente.

El secado suele ser la etapa final de los procesos antes del empaque y permite que muchos materiales sean más adecuados para su manejo. El secado o deshidratación de materiales biológicos (en especial alimentos); se usa como técnica de preservación. Los microorganismos que provocan la descomposición

de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua. Además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en alimentos y otros materiales biológicos no pueden funcionar sin agua. Los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso. Sin embargo, generalmente es necesario reducir este contenido de humedad por debajo del 5% en peso en alimentos, para preservar sabor y valor nutritivo. Los alimentos secos pueden almacenarse durante períodos largos. Al igual que los alimentos, similar situación ocurre con las plantas.

Los métodos y procesos de secado se clasifican de diferentes maneras. Una clasificación es de acuerdo con las condiciones físicas usadas para adicionar calor y extraer el vapor de agua:

1. En la primera categoría, el calor se añade por contacto directo con aire caliente a presión atmosférica, y el vapor de agua formado se elimina por medio del mismo aire.
2. En el secado al vacío, la evaporación del agua se verifica con más rapidez a presiones bajas, y el calor se añade indirectamente por contacto por medio de una pared metálica o por radiación (también puede usarse temperaturas bajas con vacío para ciertos materiales que pueden decolorarse o descomponerse a temperaturas altas.
3. En el secado por congelación, el agua se sublima directamente del material congelado.

Al igual que en otros procesos de transferencia, el proceso de secado de materiales debe considerarse desde el punto de vista de las relaciones de equilibrio y, además, de las relaciones de velocidad. En la mayoría de los equipos de secado, el material se seca al entrar en contacto con una mezcla de

aire-vapor de agua. Una variable importante en el secado de materiales es la humedad del aire en contacto con un sólido de determinada humedad. Como ejemplo, un sólido húmedo se pone en contacto con una corriente de aire con determinada humedad y temperatura constantes. Se usa un gran exceso de aire, por lo que las condiciones permanecen invariables. Después de haber expuesto el sólido por tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio, llegará un momento en que dicho sólido tendrá un contenido de humedad definido. A este valor se le conoce como contenido de humedad de equilibrio del material bajo las condiciones especificadas de humedad y temperatura del aire.

Si el material contiene más humedad que su valor de equilibrio en contacto con aire de determinadas humedad y temperatura, se secará hasta alcanzar su valor de equilibrio. Si el material contiene menos humedad que su valor de equilibrio, absorberá agua hasta alcanzar dicho valor de equilibrio. Cuando el aire contiene 0% de humedad, el valor de equilibrio de todos los materiales es cero.

El contenido de humedad varía notablemente con el tipo de material para cualquier porcentaje de humedad relativa. Los sólidos insolubles no porosos tienden a tener contenidos de humedad de equilibrio bastante bajos. Ciertos materiales esponjosos de tipo celular y de origen orgánico y biológico, suelen exhibir valores altos de contenido de humedad de equilibrio.

Se han determinado los contenidos de humedad de equilibrio de algunos materiales alimenticios, estos materiales biológicos también muestran valores altos del contenido de humedad de equilibrio.

El contenido de humedad de equilibrio de un sólido disminuye un poco al aumentar la temperatura.

2.5. CURVAS DE VELOCIDAD DE SECADO:

Para reducir el contenido de humedad en el secado de diversos materiales de proceso, generalmente se desea estimar el tamaño del secador necesario, las diferentes condiciones de operación de humedad, la temperatura para el aire empleado, y/o el tiempo requerido para lograr el grado de secado exigido. Tal como ya se expuso, no es posible predecir el contenido de humedad de equilibrio de diversos materiales, por lo que se hace necesario determinarlo por vías experimentales.

Para determinar experimentalmente la velocidad de secado de un material, se coloca una muestra en una bandeja de tal manera que sólo quede expuesta a la corriente de aire de secado la superficie de dicho sólido. La pérdida en peso de humedad durante el secado puede determinarse en diferentes intervalos; sin interrumpir la operación, al colgar la bandeja en una balanza adaptada a un gabinete o a un ducto a través del cual fluye el aire de secado. La velocidad, la humedad, la temperatura y la dirección del aire deben ser los mismos y constantes para simular un secado en condiciones invariables.

Los datos que se obtienen de un experimento de secado por lotes generalmente se expresan como peso total W del sólido húmedo (sólido seco más humedad) a diferentes tiempos de t horas en el período de secado. Estos datos se pueden convertir en datos de velocidad de secado. (Ref. 7; 452 pp); de esta manera es posible obtener la curva de velocidad de secado (Fig. A). La humedad libre X , masa de agua sobre masa de sólido seco, es la humedad que el sólido posee en determinado tiempo menos la humedad de equilibrio.

En la figura A se muestra la velocidad de secado para las condiciones de secado constante. Empezando con un tiempo cero, el contenido inicial de

humedad libre corresponde al punto A. Al principio, el sólido suele estar a una temperatura inferior a la que se tendrá al final, y la velocidad de evaporación irá en aumento. Al llegar al punto B, la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio. Por otra parte, si el sólido está bastante caliente al principiar la operación, la velocidad de secado puede iniciarse en un punto A'. Este período inicial de ajuste con estado inestable suele ser bastante corto. La curva de la figura A es recta entre los puntos B y C, por lo que la pendiente y la velocidad son constantes durante este período. El período de velocidad constante corresponde a la línea BC en la gráfica A. En el punto C, la velocidad de secado comienza a disminuir durante el período de velocidad decreciente, hasta llegar al punto D. En este primer período de velocidad decreciente, la velocidad corresponde a la línea CD en la figura 1b, y por lo general es lineal. En el punto D, la velocidad de secado disminuye con más rapidez aún, hasta llegar que llega al punto E, donde el contenido de humedad es el de equilibrio y X es cero. En el secado de algunos materiales, la región CD puede no existir o bien constituir la totalidad del período de velocidad decreciente.

El secado de diversos sólidos bajo diferentes condiciones constantes de secado casi siempre produce curvas de formas variables en el período de velocidad decreciente, pero en general siempre están presentes las dos zonas principales de la curva de velocidad de secado; el período de velocidad constante y el período de velocidad decreciente. Durante el primer período, la superficie del sólido está al principio, muy mojada y sobre ella existe una película de agua continua. Esta capa de agua está siempre sin combinar y actúa como si el sólido no estuviera presente. La velocidad de evaporación

con las condiciones establecidas para el proceso, es independiente del sólido y en esencia, igual a la velocidad que tendría una superficie líquida pura. Sin embargo, las ondulaciones y hendiduras sobre la superficie del sólido ayudan a obtener una velocidad más alta que la que tendría una superficie completamente plana. Si el sólido es poroso, la mayor parte del agua que se evapora durante el período de velocidad constante proviene del interior del sólido. Este período continuará mientras el agua continúe llegando a la superficie con la misma rapidez con la que se evapora.

El punto C de la figura A corresponde al contenido crítico de humedad libre X_c . En este punto no hay suficiente agua en la superficie para mantener película continua. La superficie ya no está totalmente mojada, y la porción mojada comienza a disminuir durante este período de velocidad decreciente, hasta que la superficie se seca en su totalidad en el punto D de la figura 1b. El segundo período de velocidad decreciente empieza en el punto D cuando la superficie esta seca en su totalidad. El plano de evaporación comienza a desplazarse con lentitud por debajo de la superficie. El calor para la evaporación se transfiere a través del sólido hasta la zona de vaporación. El agua vaporizada atraviesa el sólido para llegar hasta la corriente de aire.

En algunos casos no hay discontinuidad definida en el punto D, y el cambio de condiciones de secado de una superficie con humedad parcial a una superficie completamente seca, es tan gradual que no se detecta un punto de inflexión. Es posible que la cantidad de humedad que se elimina durante el período de velocidad decreciente sea bastante pequeña, no obstante, el tiempo requerido puede ser bastante largo. En la figura 1 se ilustra este efecto. (Ref. 6).

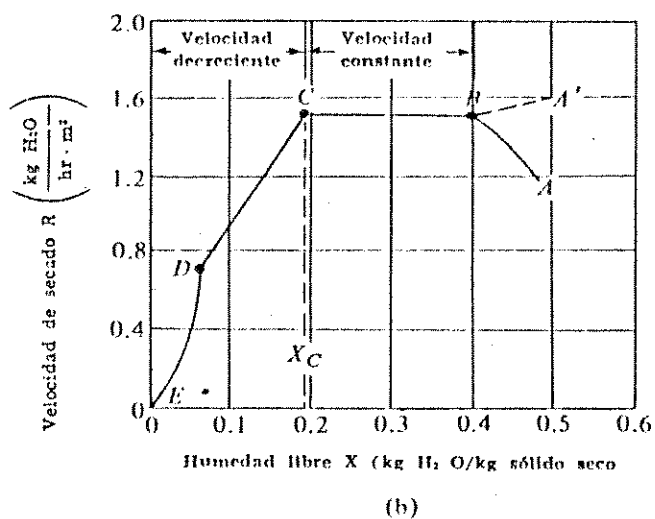
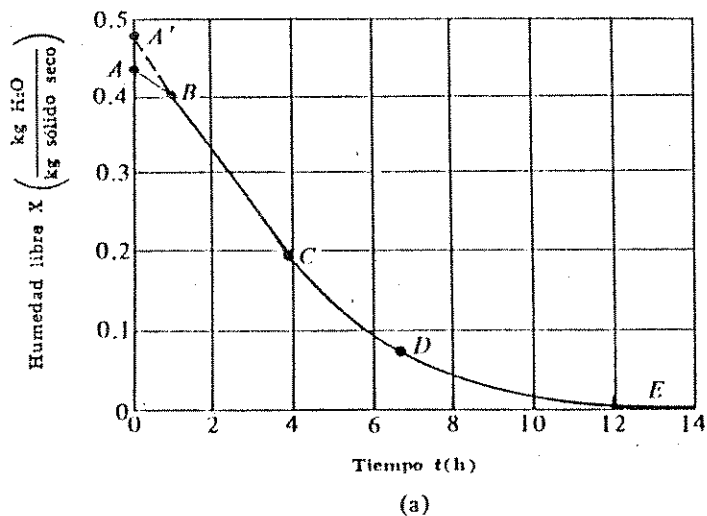


Figura A. Curva típica de velocidad de secado para condiciones de secado constante: a. gráfica de datos como humedad libre en función del tiempo. b. curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre. (Ref. 8)

3. JUSTIFICACIONES:

Debido a la posición geográfica de Guatemala, una zona tropical, se cultiva gran variedad de especies agrícolas propios de estas zonas. A muchas de estas plantas se les han atribuido propiedades medicinales. Entre esa extensa variedad de plantas medicinales existe la planta de apazote (*Chenopodium ambrosioides* L.), la cual se reproduce en casi todo el país y en toda época del año; sin embargo hasta el momento no es una planta que sea cultivada, por el contrario, crece de manera silvestre.

La planta de apazote en muchas regiones se utiliza como planta medicinal, entre las cuales se menciona en quemaduras, raspones, infecciones de la piel, asma, catarro afecciones nerviosas, ferbrifugo, dolor de muelas y desórdenes menstruales. Se le atribuyen propiedades diuréticas, sudoríficas, desinflamantes, emenagogas, como vermífugo y antifúngicas; utilizada como remedio contra los trastornos y daños renales y la apolopojía. Ampliamente usada en el tratamiento de afecciones gastrointestinales, particularmente para tratar parasitosis intestinales, inapetencia, indigestión, diarrea y disentería, para tratar afecciones del hígado.

Esta planta es rica en quenopodio, el aceite esencial, el cual es antibacteriano, antihelmíntico, antimalárico, carcinógeno, depresor cardíaco, hipotensor, relajante muscular y estimulante respiratorio. En años recientes, farmacológicamente, se ha comprobado que el ascaridol es el que tiene las propiedades antihelmínticas, principalmente contra *áscaris lumbricoides* y *ancilostomas*, y propiedades emenagogas. Se ha demostrado además que la planta tiene actividad estomática, digestiva y tónica. Estudios demuestran que

tienen actividad contra amebas, hongos y paludismo. Estudios realizados en Guatemala demuestra que la planta tiene ligera actividad diurética. En la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos se ha comprobado la actividad antiespasmódica, y cicatrizante. Por otro lado es muy usada como sazonador de comidas.

Dadas las propiedades medicinales y como condimento; y la facilidad con que se produce en Guatemala; podría ser para nuestro país un producto de exportación hacia países donde esta planta es desconocida, o donde no se presentan las condiciones climáticas, como para poder cultivarla; por ejemplo en países europeos.

El apazote, como muchas plantas, se descompone muy fácilmente, incluso bajo refrigeración; un producto deshidratado presenta enormes ventajas, al hacerlo menos perecedero, al momento de ser almacenado o ser transportado; es por ello que ha surgido la inquietud de deshidratar esta planta. De acuerdo a información bibliográfica, el secado de esta planta, cuando se han realizado extracciones de su aceite esencial, se lleva a cabo al sol; sin embargo en épocas lluviosas, o en días nublados el secado se vuelve muy prolongado y, como se mencionó anteriormente, la planta tiende a descomponerse con gran facilidad. Es importante, entonces, determinar la factibilidad de un secado alternativo sin que exista una degeneración, desintegración, y/o pérdida de sus componentes activos; como no ocurre en el secado al sol. Ya que se ha comprobado que en varias especies vegetales, por ejemplo el pericón (*Tagetes Lucida*), que secado al sol y en secador no se obtienen los mismos resultados.

El método de secado alternativo utilizado es secar la planta en un secador de túnel de contacto directo, y además es importante evaluar las condiciones de secado (temperatura del aire).

4. OBJETIVOS

Evaluar la factibilidad del secado de la planta de apazote (Chenopodium ambrosioides L.) en un secador de túnel de contacto directo.

Evaluar el efecto de la temperatura del aire de secado dentro de un secador de túnel de contacto directo de la planta en las propiedades fisicoquímicas, y en el rendimiento del aceite extraído

Determinar el método óptimo para el secado de la planta de apazote.

5. HIPOTESIS:

Es factible deshidratar la planta de apazote (Chenopodium Ambrosioides L.) en un secador de túnel de contacto directo, de tal manera que no exista degeneración de los componentes activos en el aceite esencial extraído.

HIPÓTESIS ESTADÍSTICA:

Para cada variable respuesta (densidad, índice de refracción, rotación óptica específica; absorptividad óptica, así como el rendimiento del aceite esencial) se realiza una hipótesis estadística.

H₀: No existe variación significativa en la variable respuesta sometida a diferentes temperaturas de secado:

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

donde μ_i es la media de los tratamientos, (4 condiciones de secado: un secado al sol, y a tres temperaturas dentro del secador).

H_a: Existe variación significativa: al menos $\mu_i \neq \mu_j$

donde: *i* y *j* pueden tomar un valores distintos de 1 a 4

6. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN:

6.1. LOCALIZACIÓN:

La parte experimental de la presente investigación se realizó en los siguientes laboratorios:

A.. Laboratorio de Química de la Escuela de Formación de Profesores de Enseñanza Media, Facultad de Humanidades de la Universidad de San Carlos de Guatemala; en donde se colocó el secador de túnel de contacto directo para realizar los distintos tratamientos de secado. También se realizaron las diferentes extracciones y posteriores destilaciones para la obtención del aceite esencial.

B. Laboratorio de Química de la Universidad Del Valle de Guatemala, en donde se llevaron a cabo las diferentes pruebas de rotación óptica específica, el índice de refracción, la densidad, absorptividad óptica y el porcentaje de rendimiento del aceite esencial.

6.2. MATERIALES Y EQUIPO:

A. MATERIALES:

1. Plantas frescas de apazote (cortadas sin raíz), las cuales fueron obtenidas de la región de Sacatepequez, en el departamento de Guatemala.
2. Hexano, grado reactivo. Utilizado como solvente en la extracción.
3. Gas propano utilizado en la cámara de combustión del secador y para la destilación del solvente en el extracto.

B. EQUIPO:

1. *Secador de túnel de contacto directo de tiro forzado, provisto de balanza semianalítica de capacidad de 2600 g, marca Ohaus, resolución de 0.1 g y termómetros de bulbo seco y húmedo de 100° C. y una cámara de combustión de gas propano.*
2. *Frascos de color ámbar de 500 ml.*
3. *Embudo*
4. *Papel filtro*
5. *Horno*
6. *Mechero Bunsen*
7. *Anillos y pinzas de soporte necesaria para armar equipo de destilación.*
8. *Balón de destilación de 250 ml,*
9. *Refrigerante horizontal*
10. *Erlenmeyers de 250 ml.*
11. *Termómetro de 100° C.*
12. *Frascos de color ámbar de una onza.*
13. *Balanza analítica con capacidad de 160 g, resolución de .0001 g, marca Sartorius*
14. *Balanza analítica de capacidad de 50 g, con resolución de 0.00001 g*
15. *Microjeringa de 500 microlitros con un error de +/- 2 microlitros*
16. *Polarímetro de luz de sodio, marca Ohaus con un error de +/- 0.1°*
17. *Refractómetro de abbe con una resolución de cuatro decimales marca Bausch & Lomb.*
18. *Espectrofotómetro Spectronic 20, marca Baush & Lamb.*

6.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL:

A. DISEÑO DE TRATAMIENTOS:

Se trabajó con un sólo factor (variable independiente), el cual fue condición de secado: tres temperaturas del aire de secado en el secador de túnel, y un secado al sol, para un total de cuatro tratamientos o niveles; las variables respuestas son las propiedades fisicoquímicas de los distintos extractos obtenidos (densidad, índice de refracción, índice de rotación específica, absortividad óptica y porcentaje del aceite esencial obtenido). Para cada factor se realizaron dos repeticiones para un total de ocho observaciones. La velocidad del aire de secado dentro del secador se mantuvo constante.

B. DISEÑO EXPERIMENTAL:

Se realizó el análisis estadístico para cada respuesta de manera independiente. Se utilizó un análisis de varianza para el modelo de efectos fijos de clasificación en un sentido, ya que sólo se analizó con un solo factor (variable independiente) con cuatro niveles del factor o tratamientos (cuatro condiciones de secado) con dos repeticiones u observaciones para una arreglo matricial de 8 observaciones. El análisis de varianza se realizó para cada variable respuesta en las que hubo diferencia en los resultados entre tratamientos y/o observaciones, no así para aquellos en los que la respuesta fue el mismo valor, o dentro de un rango definido.

C. UNIDAD EXPERIMENTAL:

Se utilizaron unidades experimentales para cada tratamiento de secado de

200 gramos de hojas, flores y semillas; las temperaturas trabajadas fueron de 35°, 45° y 55° C; y por aparte las condiciones de secado al sol. Las temperaturas se mantuvieron en un rango de 5° C, alrededor de la temperatura media. Para cada extracción se utilizaron 150 ml. de Hexano, y un tiempo de contacto material-disolvente de 24 horas.

D. MANEJO DEL EXPERIMENTO:

La planta de apazote provinó de la región de Sacatepéquez en el departamento de Guatemala. Se usaron las hojas, flores y semillas para los distintos tratamientos de secado en el secador de túnel, y en el secado al medio ambiente (al sol). Previo a la etapa de extracción, el material seco se trituró. El secado en el secador se llevó a cabo hasta que ya no hubo variación en el peso. Posteriormente se utilizó un horno, para eliminar completamente el agua remanente. La temperatura del horno fue igual a la correspondiente con que se realizó el secado. Esto se hizo para determinar el peso completamente seco de la planta, así como para poder triturar la planta.

La extracción del aceite se realizó en frascos de color ámbar de 500 ml. Se utilizó como solvente hexano grado reactivo; después de un tiempo de 24 horas de contacto material-solvente se procedió a realizar la destilación para obtener el aceite esencial. El hexano recuperado de la destilación se volvió a utilizar para "lavar" el material que quedó dentro del frasco, para en seguida realizar una segunda destilación. Posterior a esta segunda destilación se procedió a recolectar, en frasquitos de una onza de color ámbar previamente tarados, el aceite presente en el balón de destilación; y eliminar dentro del frasquito el hexano remanente y así determinar el peso del aceite

recolectado, posteriormente determinar el porcentaje de rendimiento.

Las propiedades fisicoquímicas evaluadas al aceite obtenido fueron: densidad, índice de refracción, rotación óptica específica, y absorptividad óptica.

Para la determinación de la densidad, el volumen fue medido por medio de microjeringa de 500 microlitros, la masa de este volumen se peso en una balanza de resolución de 5 decimales. El índice de refracción se midió en un refractómetro abbe con resolución de 4 decimales, la lectura directa fue corregida por medio de la calibración con 4-bromo-naftaleno. El índice de rotación se realizó mediante una solución etanólica leída directamente en polarímetro de luz de sodio. La absorptividad óptica se realiza a partir de intensidad de una haz de luz por espectofotometría.

7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El método estadístico empleado es el de análisis de varianza para el modelo de efectos fijos de clasificación en un sentido (un solo factor).

La respuesta de cada uno de los "a" tratamientos es una variable aleatoria, es por ello que se necesita el uso de observaciones (repeticiones). Las observaciones mediante un modelo estadístico lineal se representan de la siguiente manera:

$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$; donde: Y_{ij} es la ij -ésima observación. μ es un parámetro común a todos los tratamientos denominado media global. τ_i es un parámetro único para el i -ésimo tratamiento llamado efecto del tratamiento i -ésimo, es el error provocado por los tratamientos. Y ϵ_{ij} es la componente aleatoria del error, dicho de otra manera es el error inevitable. El objetivo es probar la hipótesis con respecto a los efectos del tratamiento y hacer una estimación de ellas.

En la tabla A se representa la estructura de los datos necesarios para este experimento unifactorial, donde Y_i es el total de las observaciones bajo i -ésimo tratamiento; \bar{Y}_i es el promedio de las observaciones bajo el i -ésimo tratamiento. Similarmente sea Y la suma de todas las observaciones, y \bar{Y} la media general de las observaciones.

Tabla A. Datos típicos para un experimento unifactorial, con a tratamientos igual a 4 y n repeticiones igual a 2.

Tratamiento (nivel)	Observaciones		Totales	Promedios
1	Y_{11}	Y_{12}	Y_1	\bar{Y}_1
2	Y_{21}	Y_{22}	Y_2	\bar{Y}_2
3	Y_{31}	Y_{32}	Y_3	\bar{Y}_3
4	Y_{41}	Y_{42}	Y_4	\bar{Y}_4
			Y	\bar{Y}

El valor medio del i -ésimo tratamiento consta de la suma de la media general y el efecto del i -ésimo tratamiento. Interesa probar la igualdad de las medias de los tratamientos. Por medio de la descomposición de la variabilidad de total de los datos en sus partes componentes, y basada en el hecho de que suma de las diferencias entre el (i,j) -ésimo y la media general está influenciado por las diferencias entre tratamientos y la diferencia dentro de los tratamientos, es apropiado probar la igualdad en el nivel medio de a tratamientos con el análisis de varianza.

Como se desea probar la significancia de la hipótesis nula de que todos los tratamientos tienen efectos idénticos sobre la variable respuesta, se realizó un análisis de varianza de Fisher. Se obtuvo la F_0 de fisher para evaluar el efecto del factor sobre la respuesta. Cuanto mayor es el efecto de los tratamientos mayor es el valor de F_0 . El valor de F_0 se compara con el F tabulado, que en éste caso para un nivel de significancia (probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera) de 0.01 es de 16.69. Mientras el valor de F_0 para cada variable respuesta sea mayor que F la hipótesis nula, H_0 , se rechaza con una probabilidad del 99%.

Para las variables respuestas en las cuales el efecto condición de secado es positivo, es decir la hipótesis nula se rechaza (al menos una media i no es igual a la j), se realiza la prueba de intervalos múltiples de Duncan para comparar las parejas de medias entre cada tratamiento; y de este modo evaluar si el efecto mostrado con el análisis de variancias es producido únicamente por el tratamiento de secado al sol; o cada tratamiento tiene efecto en la variable respuesta.

6. RESULTADOS:

De acuerdo al análisis de varianza:

- a. *El factor condición de secado no afecta las variables respuesta índice de refracción del extracto obtenido.*
- b. *El factor condición de secado no afecta la variable respuesta Densidad del extracto obtenido.*
- c. *El factor condición de secado afecta la variable respuesta % de Rendimiento del extracto obtenido*

De acuerdo al análisis de comparación múltiple de medias de Duncan realizada para la variable respuesta: porcentaje de rendimiento del aceite extraído:

Entre los factores: temperatura de secado a 55° y 45° C no existe diferencia significativa entre sí.

Entre los factores: temperatura de secado a 55° y 35° C; temperatura de secado a 55° y Secado al sol; temperatura de secado 45° y 35° C; temperatura de secado a 45° y Secado al sol; temperatura de secado a 35° C y Secado al sol existe diferencia significativa entre sí.

De acuerdo a los datos obtenidos directamente:

- a. *El factor condición de secado no afecta la variable respuesta, ángulo de óptica específica, del extracto obtenido.*
- b. *El factor condición de secado no afecta la variable respuesta, absortividad óptica de un haz lumínico de longitud de onda de 620 nanómetros, del extracto obtenido.*

9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS:

Se sabe que el secado tradicional de la planta de apazote se ha realizado por medio de secado al sol. El objetivo principal de este trabajo de investigación fue evaluar la factibilidad de utilizar un secador de túnel de contacto directo como método alternativo de secado. Tal objetivo se llevó a cabo por medio de la comparación de determinadas propiedades fisicoquímicas medidas entre el aceite extraído de la planta seca por el método propuesto y el aceite extraído por el método tradicional. Dentro del secador de túnel se trabajaron tres temperaturas de aire de secado para determinar si la temperatura de secado producía un efecto adverso en el cambio de las propiedades fisicoquímicas del aceite extraído.

Las propiedades fisicoquímicas o constantes físicas fueron: el índice de refracción, la densidad, el índice de rotación específica, y el índice de absorción óptica. Por otro lado también se evaluó el rendimiento del aceite extraído en cada condición de secado.

Específicamente, se buscaba comparar si con el uso del secador no existía una transformación de los componentes activos del aceite esencial, mediante oxidación o reducción de los mismos. Lo cual se puede comparar mediante las propiedades fisicoquímicas.

El índice de refracción, al igual que la densidad, es una de las constantes físicas clásicas utilizadas para describir una especie química. Aunque no constituye una propiedad específica, pocas sustancias presentan índices de refracción iguales para una temperatura y una longitud de onda determinadas, en consecuencia esta constante resulta útil para confirmar la

identidad del compuesto y valorar su pureza. La rotación óptica (polarimetría) de un compuesto proporciona una constante física fundamental útil para fines de identificación; tanto la polarimetría como la espectroscopia de absorción (absorción óptica) representan un valioso instrumento para la identificación de compuestos. (Ref. 13 158, 374, 387pp).

Por la importancia y la confiabilidad de las estas constantes físicas, y la disponibilidad de estos aparatos de medición, fueron escogidas estas propiedades fisicoquímicas para ser tomadas como variables respuesta y ser sometidas a comparación estadística.

El método estadístico de análisis de varianza con un solo factor: condiciones de secado; y con cuatro tratamientos (3 temperaturas de secado al sol, y un secado al sol) fue elegido para hacer el análisis estadístico, ya que este método permite la interacción de cada una de las repeticiones u observaciones dentro de un mismo tratamiento; así como la interacción entre las medias de cada tratamiento; mediante el calculo de los errores cometidos por las observaciones, y por los tratamientos; en el entendido de que la los errores del equipo son constantes en cada lectura; no así los errores aleatorios. (Ref. 9, 48-53 pp)

Al realizar el análisis estadístico para las variables respuestas Índice de refracción y Densidad las F_0 de Fisher calculadas, 1.4561 y 0.465 respectivamente, fueron menores que la F_t tabulada de tabla 16.69 con un nivel de significancia del 99%. Con estos valores obtenidos las hipótesis nulas planteadas para las variables respuestas índice de refracción y densidad son aceptadas, es decir que la diferencia entre las medias de cada tratamiento no son significativamente diferentes, con una probabilidad del 1% de cometer el

error tipo I, es decir aceptar esta hipótesis cuando esta pudiera ser falsa.

Para la variable respuesta índice de rotación óptica, no fue posible el análisis estadístico, ya que debido a la turbiedad del aceite fue difícil determinar un ángulo de rotación óptica exacto, por lo que los resultados fueron expresados dentro del rango de un grado. El ángulo de rotación óptica depende de la concentración del compuesto a evaluar, la longitud del tubo donde se encuentra la muestra, y de la temperatura a la que se efectúa la medición; es por ello que se emplea el índice de rotación óptica específica, en el cual se ha definido como el número de grados de rotación basado en la unidad de concentración (gr/cc) y la longitud del tubo de la muestra; así como también se debe indicar el disolvente utilizado, la temperatura a la cual se hizo la medición y la fuente de luz utilizada. (Tabla No. 9).

Para la variable respuesta absorptividad óptica, se utilizó una solución etanólica; y tampoco se realizó el análisis estadístico ya que la magnitud del haz de luz al pasar la solución etanólica del extracto fue igual para todos los tratamientos. La absorbancia óptica depende directamente de la longitud de la celda por donde atraviesa el haz de luz, y que contiene la solución a estudiar; y además de la concentración de la solución, por tal razón los datos deben ser expresados como absorptividad, propiedad intensiva e independiente del tamaño de la celda. (Tabla No. 10).

Para la variable respuesta porcentaje de rendimiento, al hacer el análisis estadístico, la F_0 es mayor que la tabulada por lo tanto la hipótesis nula es rechazada con un nivel de significancia de 0.01, es decir se afirma con una probabilidad del 99% que la si existe diferencia significativa entre las medias de los tratamientos. Debido a que el análisis de varianza sólo

indicaba que al menos una igualdad entre medias es diferente se realizó la prueba de intervalos múltiples de Dúncan para evaluar si esta diferencia era exclusiva del método de secado, o por si el contrario, la diferencia de medias era distinta entre cada tratamiento de secado. Específicamente, lo importante de evaluar era si existía diferencia significativa entre el secado al sol y el secado utilizando secador. Al hacer la prueba de intervalos múltiples de Dúncan se logró determinar que estadísticamente las diferencias no son significativas solamente entre los secados a 45° y 55° a pesar de que al observar los datos se observa un respectivo ligero aumento en el porcentaje de aceite extraído. (Tabla No. 11, Gráfica No. 9)

Al observar los parámetros evaluados como respuesta se nota en alguno de ellos, principalmente dentro del índice de refracción y la densidad, alguna dispersión de ciertos datos, lo cual se atribuye a errores al azar, principalmente en la calidad de la eliminación del solvente utilizado para la extracción. Como se mencionó con anterioridad el análisis estadístico permite la interacción entre los datos de las repeticiones y entre tratamientos para minimizar estos errores al azar.

Ya comprobado que las propiedades fisicoquímicas del extracto obtenido no varían con el método empleado ni con la temperatura dentro del secador; es importante determinar si estas propiedades fisicoquímicas corresponden al aceite de quenopodio para concluir de esta manera que lo obtenido y analizado fue efectivamente aceite de quenopodio; porque podría pensarse que los componentes del aceite extraído fueron alterados de igual manera con los dos métodos de secado estudiados.

Antes de realizar la comparación entre las propiedades fisicoquímicas

evaluadas es importante recalcar que tanto la cantidad, como la calidad del aceite extraído de la planta, varía con la región donde la planta crece, el tipo de suelo, y además de ello la maduración o el tiempo con el que es cortada la planta. Ya que la cantidad de ascaridol, el componente activo, y de los otros componentes del aceite esencial difiere con los factores mencionados, y en consecuencia las propiedades del mismo. Por esta razón bibliográficamente las propiedades fisicoquímicas son dadas en rangos. Esta investigación no hubiera sido confiable si estos factores mencionados hubieran sido variables en alguno de los secados. Las plantas utilizadas fueron cortadas en una misma región (Sacatepequez, departamento de Guatemala). En el secado no se utilizaron los tallos ya que se sabe que estos carecen de aceite.

Bibliográficamente, la densidad del aceite reportada varía desde un rango de 0.937 hasta 0.9900; el índice de refracción varía desde 1.4723 a 1.4790; el índice de rotación óptica presenta una serie de valores que van desde -4° a -12° , sin embargo se han obtenido aceites de muy buena calidad que presentan rotación óptica específica de $-0^\circ 20'$ y de $-0^\circ 7'$. Estos datos bibliográficos son en tubo de 100 mm.

El ciento por ciento de los datos de densidad del extracto obtenido en éste estudio están entre 0.938-0.940. El 75% de los datos de índice de refracción está dentro del rango de 1.4726 a 1.4736. (Tablas No. 1 y 2). Para el índice de absorbancia óptica no hay datos bibliográficos, sin embargo se utilizó éste parámetro para corroborar la igualdad del extracto entre tratamientos. Los datos obtenidos de índice de rotación específica experimentalmente fueron en tubo de 200 ml, por lo que al hacer la comparación los datos bibliográficos deben ser divididos por dos. Dentro del rango de

Índice de rotación óptica específica observado en el presente estudio caen los dos últimos valores bibliográficos. Por lo anterior se concluye que el extracto obtenido en este estudio corresponde a las propiedades del aceite de quenopodio.

Estadísticamente, las hipótesis planteadas abarcaban tanto a las propiedades fisicoquímicas como el porcentaje de rendimiento de aceite; sin embargo la hipótesis general es exclusiva para las propiedades fisicoquímicas, esto se hizo ya que los objetivos están orientados a evaluar el efecto del secado sobre éstas propiedades y no a la extracción en sí del aceite; sin embargo de nada serviría el hecho de que las propiedades fisicoquímicas se mantuvieran con el método propuesto, si el arrastre del aceite esencial, provocado por la corriente de aire de sacado, fuera tal que lo disminuyera considerablemente en la planta. Es por ello que el valor del porcentaje aceite extraído, es un parámetro complementario de suma importancia al evaluar el método de secado.

Con el secado al sol y con el secador a 35° C. hay menor contenido de aceite en la planta seca, lo que organolépticamente se observó por medio de la intensidad del olor de la planta seca antes de ser sometido a extracción. Con éstos resultados en la variable respuesta porcentaje de rendimiento, es un punto a favor en la utilización del secador de túnel.

Hay que tomar en cuenta, además, algunas trazas del solvente utilizado en la extracción (hexano) que pudieron haber quedado dentro del extracto obtenido, sin embargo estas trazas no influyeron para que las propiedades fisicoquímicas se salieran del rango presentado bibliográficamente, ya que las propiedades del hexano (gravedad específica $d_4^{20}=0.66$, índice de refracción a

20° C de 1.375, No es ópticamente activo); en todo caso provocaron una disminución en las propiedades evaluadas. Los datos, que quedaron dispersos en las variables respuesta, por abajo del rango se atribuyen a la presencia de hexano en el extracto. Como se mencionó anteriormente, el análisis estadístico se realizó con el objetivo de disminuir el efecto de éstos errores.

La selección de hexano como solvente para la extracción del aceite esencial, se realizó por su infinita solubilidad en ascaridol, p-cimeno, limoneno, terpireno, que son los constituyentes principales del aceite esencial. Por otro lado, por ser este un alcano, presenta insolubilidad en compuestos de alta polaridad, específicamente de clorofila, y la mayor parte de los otros constituyentes de la planta que no forman parte del aceite esencial, con lo que se asegura la no presencia de ellos en el extracto obtenido.

En las figuras 1 a 6 se presentan la curvas de velocidad de secado de la planta, representadas como humedad libre existente en la planta en determinado tiempo, con el objeto de observar el comportamiento del secado. Es importante aclarar que las humedades de equilibrio de cada tratamiento de secado no fueron iguales, ya que las plantas no todas poseen el mismo contenido de agua; sin embargo los valores se encontraron dentro de un rango de 27.4 a 32.2 gramos de planta.

El objetivo de este trabajo se circunscribió a obtener un producto seco a la humedad de equilibrio; sin embargo, al momento de evaluar la factibilidad económica, el tiempo óptimo de secado se puede determinar, con la cantidad óptima de material en la bandeja.

Por otro lado, es importante hacer mención de las características higroscópicas de la planta, ya que el peso de la planta seca aumentó alrededor de 15% en base seca en un período de 24 horas; para poder realizar la extracción se hizo necesario secar completamente la planta en horno para poder triturar la misma y para poder eliminar el agua que pudiera interferir en el extracto obtenido.

10. CONCLUSIONES:

1. *Las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial extraído de la planta de apazote seca no se ve afectada por el método de secado trabajado, ni por la temperatura del aire de secado.*
2. *El contenido de aceite esencial en la planta de apazote seca es menor cuando el secado se realiza al medio ambiente en comparación con el uso del secador de túnel de contacto directo.*
3. *Bajo las temperaturas de secado trabajadas dentro del secador de túnel de contacto directo; el rango de temperaturas óptimas de secado es de 45 a 55°C, ya que en el contenido de aceite en la planta seca es relativamente mayor, y no significativamente diferentes entre sí.*
4. *Como método alternativo al secado al sol, es factible la utilización de un secador de túnel de contacto directo para el deshidratado de la planta.*

11. RECOMENDACIONES:

1. *Es importante seguir realizando estudios de este tipo para deshidratar vegetales, propios de esta región; y de esta manera garantizar la calidad del producto deshidratado.*
2. *Evaluar la factibilidad económica de realizar el secado de la planta de apazote, en un secador de tunel a nivel industrial, principalmente para la reducción de los tiempos de secado, con la capacidad óptima en las bandeja de secado.*
3. *Hacer un estudio de mercado para determinar la factibilidad de exportación de este producto como planta medicinal o bien como condimento.*

12. BIBLIOGRAFÍA:

1. **Bernandini, E.** *Tecnología de aceites esenciales y grasas.* España: editorial Alhambra, S.A., 1,981. 125 pp.
2. **Cabrera S, Blanca.** *Validación científica de la actividad antiespasmódica In vitro de Crecopia obtusifolia bertolini (guarumo), Chenopodium ambrosioides L. (apazote), Hyptis pectinata (L) point (alhucema), Jacaranda mimosifolia D (jacaranda) y Yucca elephantipes regel (izote) (Tesis Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC).* Guatemala, septiembre de 1990.
3. **Cáceres, Armando & Samayoa, Blanca.** *Tamizaje de la actividad bacteriana de las plantas usadas en Guatemala para el tratamiento de afecciones gastrointestinales.* Guatemala: Cuadernos de Investigación. Dirección General de Investigación. Universidad de San Carlos de Guatemala. Documento 6-89, 1,989. 41-42 pp.
4. **Cronquist, Arthur.** *Botánica Básica.* México: Compañía Editorial Continental, S.A., 1,987. 656p.
5. **Chete Payes, Luis.** *Evaluación del efecto cicatrizante del tallo, hojas, flores y frutos de Chenopodium ambrosioides L. (apazote) y de la corteza y hojas de Spondias purpurea L. (jocote de corona) en heridas producidas en ratas albinas.* (Tesis Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC). Guatemala, mayo de 1,992.
6. **Geankoplis, Christie.** *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias.* Primera Edición en Español. México: Compañía Editorial Continental, S.A., 1,982. 435-436, 448-455 pp.

7. Guenther, Ernest. *The essential oils*. New York, U.S.A.: D. Van Nostrand Company, Inc., 1,952. Vol I 188-196, 140 pp. Vol VI 151-161, 237-271, 298-301 pp.
8. Kirk, Raymond & Othmer, Donald. *Enciclopedia de Tecnología Química*. Primera edición en español. México: Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana, 1965. Tomo I 61-67pp. Tomo XV 162-163pp.
9. Montgomery, Douglas C. *Diseño y Análisis de Experimentos*. México: Grupo Editorial Iberoamérica, 1991. 1-78pp.
10. Perry, Robert & Green, Don. *Perry, Manual del Ingeniero Químico*. Sexta Edición (Tercera en español). México: Editorial Mc.Graw-Hill, 1,992.
11. Folleto informativo sobre algunas plantas medicinales comúnmente utilizadas por la población garífuna de Livingstone. Guatemala: Programa Tramil C.A./Enda Caribe, 1,995. 19-22 pp.
12. Skoog, D.A. & West, D.M. *Análisis Instrumental*. Segunda Edición en español. México: Editorial Interamericana, 1,987. 157-167, 371- 393pp.
13. Ronquillo Batres, Fredy A. et.al. *Colecta y descripción de especies vegetales de uso actual y potencial en alimentación y/o medicina de las zonas semiáridas del nororiente de Guatemala*. Cuadernos de Investigación, Dirección General de Investigación. Universidad de San Carlos de Guatemala. Documento 7-88. Guatemala, 1,988. 50-52 pp.
14. *The Merck Index of Chemicals and Drugs*. Seventh Edition. Rahway, N. J., U.S.A: Published by Merck & Co, Inc., 1,960. 105, 200-201, 315, 609, 745, 1017 pp.
15. Youngken, H. *Tratado de Farmacología*. México: Editorial Atlante, 1,951. 137p.

13. REFERENCIAS:

1. *Arctander, Steffen. Perfume and flavor chemicals (aroma chemicals). Published by the Author 1969, Montclair, N.J. (USA). Printed in Denmark. Vol. II, 675pp*
2. *Cifuentes G, Soemía. Evaluación de la calidad de los aceites esenciales que se distribuyen en la ciudad de Guatemala. (Tesis Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC). Guatemala, noviembre de 1991.*
3. *Maaz Och, Edgar Estuardo. Deshidratación de zanahoria y papa por el método de aire forzado en un secador de gabinete. (Tesis Facultad de Ingeniería, USAC). Guatemala, agosto de 1995.*
4. *Morton, Julia F. Atlas of medicinal plants of middle america. Illinois, U.S.A.: Charles C. Thomas Publisher, 1981. Vol I. 176-179pp.*
5. *Martínez, Maximino. Las plantas medicinales de México. Quinta Edición. México, 1969. 127-128pp.*
6. *Mc.Cabe, W. Smith, J. Harriott, P. Operaciones Básicas de Ingeniería Química. Cuarta Edición. México: editorial Mc.Graw-Hill, 1991.*
7. *Muñoz, M. B. Aplicación y modificaciones experimentales al control de calidad de aceites esenciales en Guatemala. (Tesis Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC) Guatemala, 1976.*
8. *Reyes Castañeda, Pedro. Diseño de experimentos aplicados. Segunda edición. México: editorial Trillas, 1981.*
9. *Wingrove, Alan & Carret, Robert. Química Orgánica. México: editorial HARLA, 1984.*

14. APENDICE

A. Guía de cálculo para la determinación de las curvas de velocidad, expresadas como humedad libre en función del tiempo:

Para la temperatura de 55°, primera corrida y tiempo de 60 min de secado:

Peso de la bandeja: 111.7

Peso inicial (bandeja más planta seca): 311.7 g.

Peso a los 60 min de secado: 295.1 g.

Peso neto de la planta semihumeda: 183.4 g.

Peso neto de la planta al equilibrio: 30.7 g.

Peso de la planta completamente seca: 27.2 g.

Cantidad de agua existente: $183.4 - 27.2 = 156.2$ g

Humedad a los 60 min de secado:

$$X_t: \text{masa de agua/masa planta seca} = 156.2/27.2 = 5.74$$

Humedad de equilibrio:

$$X_e: \text{masa de agua al equilibrio/masa planta seca} =$$

$$(30.7 - 27.2)/27.2 = 0.1$$

Humedad libre: $X_t - X_e = 5.64$

B. Guía de cálculo del análisis estadístico realizado:

El análisis estadístico se realiza para cada variable respuesta por separado. Esta guía se realiza para la variable respuesta porcentaje de rendimiento del aceite obtenido.

Metodo estadístico: análisis de varianza para el modelo de efectos fijos de clasificación en un sentido

Factores (nivel) Condiciones secado	Observaciones % de rendimiento		Totales Y _i	Promedios \bar{Y}_i
T _{sol}	1.0078	0.9192	1.9270	0.9635
T ₃₅	1.3207	1.2867	2.6074	1.3037
T ₄₅	1.6868	1.7208	3.4075	1.7038
T ₅₅	1.7280	1.7706	3.4986	1.7493
			Y = 11.441	$\bar{Y} = 1.4301$

$$SS_T = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^2 Y_{ij}^2 - \bar{Y}^2/N$$

$$= (1.0078)^2 + (0.9192)^2 + (1.3207)^2 + \dots + (1.7706)^2 - (1.4301)^2/8$$

$$= 0.8269$$

$$SS_{\text{Tratamientos}} = \sum_{i=1}^4 Y_i^2/n - \bar{Y}^2/N$$

$$= ((1.9270)^2 + \dots + (3.4986)^2)/5 - (1.4301)^2/8$$

$$= 0.8209$$

$$SS_E = SS_T - SS_{\text{Tratamientos}}$$

$$= 0.8269 - 0.8209 = 0.0060$$

$$MS_{\text{Tratamientos}} = SS_{\text{Tratamientos}}/(a-1)$$

$$= 0.8209/(4-1) = 0.2736$$

$$MS_E = SS_E/(N-a)$$

$$= 0.0060/(8-4) = 0.0015$$

$$F_0 = MS_{\text{Tratamientos}}/MS_E$$

$$= 0.2736/0.0015 = 182.78$$

Si: $F_0 > F_{\alpha, a-1, N-a}$, la hipótesis nula se rechaza

Para un nivel de confianza de 0.01 de rechazar la hipótesis cuando esta es verdadera:

$$F_{.01,3,4} = 16.69$$

Para la variable respuesta rendimiento $F_o > F_t$; no así para las otras variables respuesta. Por lo tanto la hipótesis nula es rechazada. (por lo menos una de las pareja de las medias no es igual)

Para observar las F_o de las otras variables respuesta ver tablas No. 10 - 11.

Para comparar el efecto que produce cada tratamiento, en especial evaluar si el secado al sol es el que lo produce se realizó la Prueba de Intervalos Múltiples de Duncan.

Para lo cual se ordenan las medias de cada tratamiento en orden ascendente:

$$\begin{aligned}\bar{Y}_1 &= 0.9635 \\ \bar{Y}_2 &= 1.3037 \\ \bar{Y}_3 &= 1.7038 \\ \bar{Y}_4 &= 1.7493\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Error estándar de cada promedio: } SY_1 &= MS_E/n \\ &= 0.0015/4 = 0.01935\end{aligned}$$

Intervalos significativos de Duncan:

$$\begin{aligned}R_2 &= r_{0.01}(2,4)SY_1 = 6.51*0.01935 = 0.126 \\ R_3 &= r_{0.01}(3,4)SY_1 = 6.80*0.01935 = 0.132 \\ R_4 &= r_{0.01}(4,4)SY_1 = 6.90*0.01935 = 0.133\end{aligned}$$

Comparación entre las medias: Y_i

$$\begin{aligned}4 \text{ vrs. } 1 &= (1.7493-0.9635) = 0.7858 > 0.133 \\ 4 \text{ vrs. } 2 &= 0.4456 > 0.132 \\ 4 \text{ vrs. } 3 &= 0.0455 < 0.126 \\ 3 \text{ vrs. } 1 &= 0.7503 > 0.132 \\ 3 \text{ vrs. } 2 &= 0.4001 > 0.126 \\ 2 \text{ vrs } 1 &= 0.3402 > 0.126\end{aligned}$$

Mientras el valor de las diferencias de medias sea menor que el respectivo intervalo de significancia de Duncan; la diferencia entre tratamientos no es significativa. En este caso solamente entre los tratamientos 3 y 4 no hay diferencia. Es decir, entre las temperaturas de secado de 45° y 55°.

TABLA 1. Datos originales y calculados, para las curvas de velocidad, expresadas como peso total (bandeja más planta), como peso neto; y como humedad libre. Temperatura: 35° C. Corrida 1

TIEMPO (min)	PESO TOTAL (gramos)	PESO NETO (PLANTA) (gramos)	HUMEDAD LIBRE (g. agua/g planta seca)
0	318.3	200.0	7.1
5	317.5	199.2	7.1
10	316.8	198.5	7.1
15	315.9	197.6	7.0
20	315.0	196.7	7.0
25	314.1	195.8	7.0
30	313.1	194.8	6.9
35	312.0	193.7	6.9
40	311.2	192.9	6.8
45	310.1	191.8	6.8
50	308.7	190.4	6.7
55	307.9	189.6	6.7
70	305.2	186.9	6.6
80	303.5	185.2	6.5
90	302.0	183.7	6.5
100	300.1	181.8	6.4
110	298.1	179.8	6.3
120	295.0	176.7	6.2
150	290.0	171.7	6.0
170	283.6	165.3	5.7
190	281.3	163.0	5.6
210	278.8	160.5	5.5
240	274.3	156.0	5.3
270	268.9	150.6	5.1
300	263.5	145.2	4.9
390	246.2	127.9	4.2
420	239.8	121.5	3.9
480	230.5	112.2	3.5
510	222.1	103.8	3.2
540	219.9	101.6	3.1
570	215.2	96.9	2.9
600	210.1	91.8	2.7
650	202.5	84.2	2.3
680	196.8	78.5	2.1
710	191.5	73.2	1.9
740	187.0	68.7	1.7
770	184.2	65.9	1.6
800	180.0	61.7	1.4
830	175.5	57.2	1.2

TABLA 1. (Continuación)

TIEMPO (min)	PESO TOTAL (gramos)	PESO NETO (PLANTA) (gramos)	HUMEDAD LIBRE (g. agua/g planta seca)
860	168.7	50.4	1.0
890	166.5	48.2	0.9
920	163.7	45.4	0.7
950	161.4	43.1	0.6
1010	154.1	35.8	0.3
1070	148.9	30.6	0.1
1100	147.0	28.7	0.1
1130	145.9	27.6	0.0
1145	145.7	27.4	0.0

TABLA 2. Datos originales y calculados, para las curvas de velocidad, expresadas como peso total (bandeja más planta), como peso neto; y como humedad libre. Temperatura: 45° C. Corrida 1.

TIEMPO (min)	PESO TOTAL (gramos)	PESO NETO (PLANTA) (gramos)	HUMEDAD LIBRE (g. agua/g planta seca)
0	312.5	200.0	6.4
5	308.6	196.1	6.3
10	305.0	192.5	6.2
15	300.1	187.6	6.0
20	297.2	184.7	5.9
30	292.9	180.4	5.7
50	284.5	172.0	5.4
55	282.0	169.5	5.3
60	279.9	167.4	5.2
70	276.5	164.0	5.1
80	272.3	159.8	4.9
90	267.5	155.0	4.8
100	263.3	150.8	4.6
115	257.5	144.8	4.4
120	255.8	143.3	4.3
140	247.5	135.0	4.0
150	244.0	131.5	3.9
170	235.8	123.3	3.6
185	229.5	117.0	3.3
195	226.0	113.5	3.2
205	222.5	110.0	3.1
210	220.5	108.0	3.0
220	217.1	104.6	2.9
245	210.0	97.5	2.6
260	205.6	93.1	2.4
270	202.2	89.7	2.3
300	194.5	82.0	2.0
315	189.4	76.9	1.8
330	185.5	73.0	1.7
390	170.0	57.5	1.1
420	163.1	50.6	0.8
430	159.5	47.0	0.7
450	154.8	42.3	0.5
480	148.7	36.2	0.3
510	144.4	31.9	0.1
530	142.6	30.1	0.1
555	141.5	29.0	0.0
570	141.3	28.8	0.0
585	141.0	28.5	0.0

TABLA 3. Datos originales y calculados, para las curvas de velocidad, expresadas como peso total (bandeja más planta), como peso neto; y como humedad libre. Temperatura: 55° C. Corrida 1.

TIEMPO (min)	PESO TOTAL (gramos)	PESO NETO (PLANTA) (gramos)	HUMEDAD LIBRE (g. agua/g planta seca)
0	311.7	200.0	6.2
5	311.0	199.3	6.2
20	306.2	194.5	6.0
30	304.2	192.5	5.9
50	298.5	186.8	5.7
55	296.8	185.1	5.7
60	295.1	183.4	5.6
65	292.9	181.2	5.5
80	286.1	174.4	5.3
85	285.0	173.3	5.2
95	280.9	169.2	5.1
105	276.8	165.1	4.9
130	264.2	152.5	4.5
145	254.9	143.2	4.1
160	248.3	136.6	3.9
175	239.2	127.5	3.6
190	230.1	118.4	3.2
210	219.7	108.0	2.8
220	215.2	103.5	2.7
230	211.5	99.8	2.5
240	207.7	96.0	2.4
255	202.5	90.8	2.2
270	198.5	86.8	2.1
285	193.0	81.3	1.9
300	188.0	76.3	1.7
315	184.7	73.0	1.6
330	180.6	68.9	1.4
345	174.5	62.8	1.2
360	169.5	57.8	1.0
375	163.2	51.5	0.8
390	159.1	47.4	0.6
405	155.7	44.0	0.5
420	152.2	40.5	0.4
435	147.1	35.4	0.2
450	143.5	31.8	0.0
465	142.6	30.9	0.0
480	142.4	30.7	0.0

TABLA 4. Datos originales y calculados, para las curvas de velocidad, expresadas como peso total (bandeja más planta), como peso neto; y como humedad libre. Temperatura: 35° C. Corrida 2.

TIEMPO (min)	PESO TOTAL (gramos)	PESO NETO (PLANTA) (gramos)	HUMEDAD LIBRE (g. agua/g planta seca)
0	312.5	200.0	6.8
5	311.2	198.7	6.8
10	309.9	197.4	6.7
15	308.7	196.2	6.7
20	305.4	192.6	6.5
45	301.5	189.0	6.4
60	299.1	186.6	6.3
75	296.5	184.0	6.2
90	294.1	181.6	6.1
105	291.0	178.5	6.0
120	288.8	176.3	5.9
150	282.5	170.0	5.6
180	276.9	164.4	5.4
240	267.2	154.7	5.0
300	256.5	144.0	4.6
360	244.9	132.4	4.1
420	233.8	121.3	3.7
480	222.6	110.1	3.2
540	211.4	98.9	2.8
600	200.3	87.8	2.3
660	192.0	79.5	2.0
720	179.5	67.0	1.5
780	172.8	60.3	1.2
840	166.3	53.8	1.0
900	159.4	46.9	0.7
960	152.6	40.1	0.4
1010	148.1	35.6	0.3
1040	144.6	32.1	0.1
1070	142.4	29.9	0.0
1100	141.5	29.0	0.0

TABLA 5. Datos originales y calculados, para las curvas de velocidad, expresadas como peso total (bandeja más planta), como peso neto; y como humedad libre. Temperatura: 45° C. Corrida 2.

TIEMPO (min)	PESO TOTAL (gramos)	PESO NETO (PLANTA) (gramos)	HUMEDAD LIBRE (g. agua/g planta seca)
0	312.5	200.0	5.9
5	310.5	198.0	5.9
10	306.4	193.9	5.7
15	305.2	192.7	5.7
25	297.6	185.1	5.4
30	295.9	183.4	5.3
45	290.2	177.7	5.1
60	286.4	173.9	5.0
75	281.3	168.8	4.8
90	275.9	163.4	4.6
125	266.5	154.0	4.3
135	264.4	151.9	4.2
150	258.9	146.4	4.0
165	254.6	142.1	3.9
180	247.5	135.0	3.6
195	241.8	129.3	3.4
210	236.6	124.1	3.3
240	229.0	116.5	3.0
255	223.7	111.2	2.8
270	217.4	104.9	2.6
300	209.3	96.8	2.3
330	198.2	85.7	1.9
360	191.3	78.8	1.7
390	186.0	73.5	1.5
405	183.2	70.7	1.4
435	176.4	63.9	1.1
480	165.1	52.6	0.7
510	159.2	46.7	0.5
540	153.7	41.2	0.3
570	149.6	37.1	0.2
600	145.4	32.9	0.0
615	144.8	32.3	0.0
630	144.6	32.1	0.0

TABLA 6. Datos originales y calculados, para las curvas de velocidad, expresadas como peso total (bandeja más planta), como peso neto; y como humedad libre. Temperatura: 55° C. Corrida 2.

TIEMPO (min)	PESO TOTAL (gramos)	PESO NETO (PLANTA) (gramos)	HUMEDAD LIBRE (g. agua/g planta seca)
0	312.5	200.0	5.8
5	307.4	194.9	5.6
10	305.6	193.1	5.5
15	303.1	190.6	5.5
20	299.8	187.3	5.3
25	296.6	184.1	5.2
30	293.9	181.4	5.1
45	287.7	175.2	4.9
60	281.2	168.7	4.7
75	274.0	161.5	4.5
90	267.5	155.0	4.2
105	261.8	149.3	4.0
120	256.5	144.0	3.9
135	250.9	138.4	3.7
150	245.5	133.0	3.5
165	239.7	127.2	3.3
180	234.0	121.5	3.1
210	220.0	107.6	2.6
255	213.6	101.1	2.4
240	207.3	94.8	2.2
255	202.2	89.7	2.0
270	197.8	85.3	1.8
285	193.2	80.7	1.7
300	187.9	75.4	1.5
315	183.9	71.4	1.4
330	179.2	66.7	1.2
345	174.3	61.8	1.0
360	169.5	57.0	0.9
375	165.3	52.8	0.7
390	161.4	48.9	0.6
420	151.1	38.6	0.2
435	148.2	35.7	0.1
450	146.2	33.7	0.1
465	145.1	32.6	0.0
480	144.7	32.2	0.0

**TABLA 7. Índice de refracción del extracto obtenido.
Calibración del refractómetro de abbe con 1-bromo-naftaleno.**

Tratamiento	Índice de refracción	
	Observación 1	Observación 2
<i>Al sol</i>	1.4730	1.4719
<i>T35°</i>	1.4730	1.4726
<i>T45°</i>	1.4708	1.4726
<i>T55°</i>	1.4730	1.4736

TABLA 8. Densidad del extracto obtenido.

Tratamiento	Densidad (g/cm ³)	
	Observación 1	Observación 2
<i>Al sol</i>	0.939	0.938
<i>T35°</i>	0.939	0.939
<i>T45°</i>	0.938	0.938
<i>T55°</i>	0.938	0.940

TABLA 9. Rango de Rotación óptica específica (en un tubo de 20 cm y etanol como disolvente)

Tratamiento	Angulo de rotación específica	
	Observación 1	Observación 2
<i>Al sol</i>	0.0°	a -1.0°
<i>T35°</i>	0.0°	a -1.0°
<i>T45°</i>	0.0°	a -1.0°
<i>T55°</i>	0.0°	a -1.0°

TABLA 10. Índice de absorptividad (absorción óptica) por gramo de aceite/ml solución etanólica por cm, para un haz luminoso de longitud de onda de 620 nanómetros.

Tratamiento	Absorbancia		Absortividad	
	Observación 1	Observación 2	Observación 1	Observación 2
Al sol	0.84	0.84	4.20	4.20
T35°	0.84	0.84	4.20	4.20
T45°	0.84	0.84	4.20	4.20
T55°	0.84	0.84	4.20	4.20

TABLA 11. Porcentaje de Rendimiento del extracto obtenido en las dos corridas realizadas, en relación a la masa inicial de planta fresca.

Tratamiento	Porcentaje de rendimiento (g aceite/g de planta fresca)*100	
	Observación 1	Observación 2
Al sol	1.0078	0.9192
T35°	1.3207	1.2867
T45°	1.6868	1.7208
T55°	1.7280	1.7706

TABLA 12. Tabla de análisis de varianza para el efecto del factor condiciones de secado en la variable respuesta Índice de refracción.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	Fo
Condiciones de secado	2.714E-5	3	9.047E-6	1.456
Error	2.485E-5	4	6.213E-6	
Total	5.199E-5	7		

TABLA 13. Tabla de análisis de varianza para el efecto del factor condiciones de secado en la variable respuesta Densidad.

<i>Fuente de variación</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Media de cuadrados</i>	<i>Fo</i>
<i>Condiciones de secado</i>	<i>8.638E-7</i>	<i>3</i>	<i>2.879E-7</i>	<i>0.465</i>
<i>Error</i>	<i>2.475E-6</i>	<i>4</i>	<i>6.188E-7</i>	
<i>Total</i>	<i>3.339E-6</i>	<i>7</i>		

TABLA 14. Tabla de análisis de varianza para el efecto del factor condiciones de secado en la variable respuesta Porcentaje de rendimiento.

<i>Fuente de variación</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Media de cuadrados</i>	<i>Fo</i>
<i>Condiciones de secado</i>	<i>0.8209</i>	<i>3</i>	<i>0.2736</i>	<i>182.78</i>
<i>Error</i>	<i>0.0060</i>	<i>4</i>	<i>0.0015</i>	
<i>Total</i>	<i>0.8269</i>	<i>7</i>		

HUMEDAD LIBRE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

35 GRADOS CENTÍGRADOS, CORRIDA 1

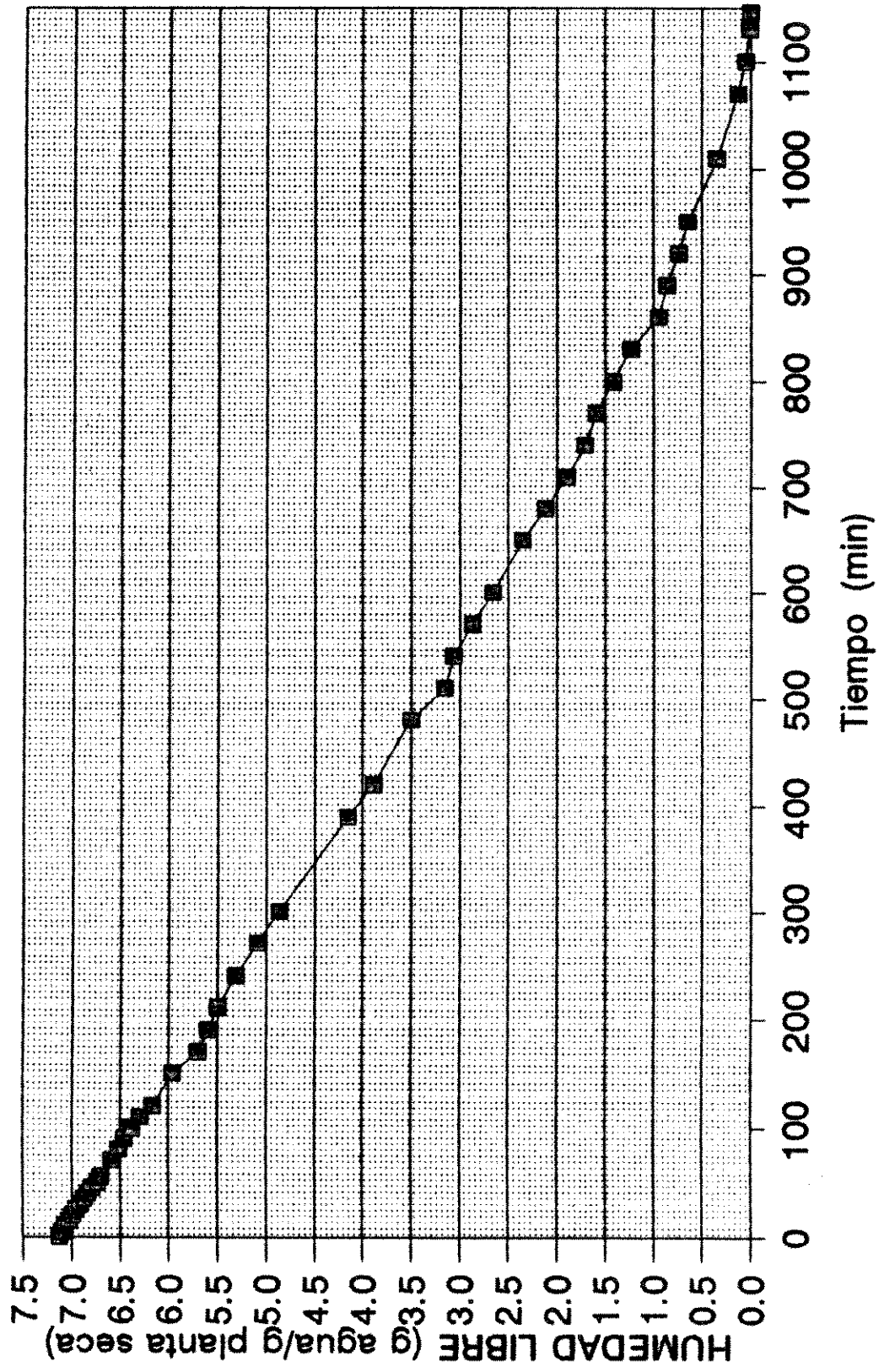


Fig. 1. Humedad libre en la planta en función del tiempo de secado, corrida No. 1

HUMEDAD LIBRE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

45 GRADOS CENTÍGRADOS, CORRIDA 1

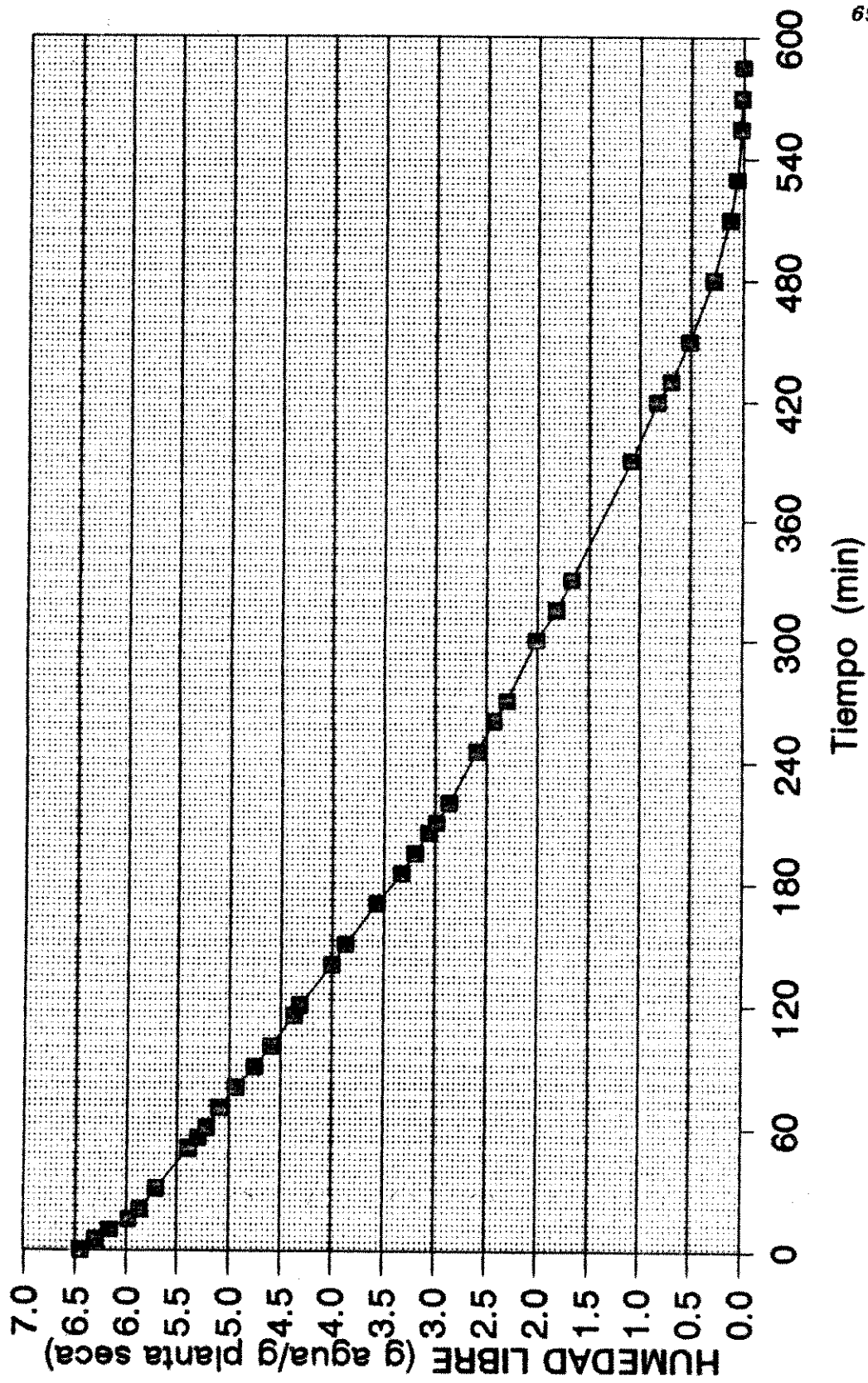


Fig. 2. Humedad libre de la planta en función del tiempo de secado, corrida No. 1

HUMEDAD LIBRE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

55 GRADOS CENTÍGRADOS, CORRIDA 1

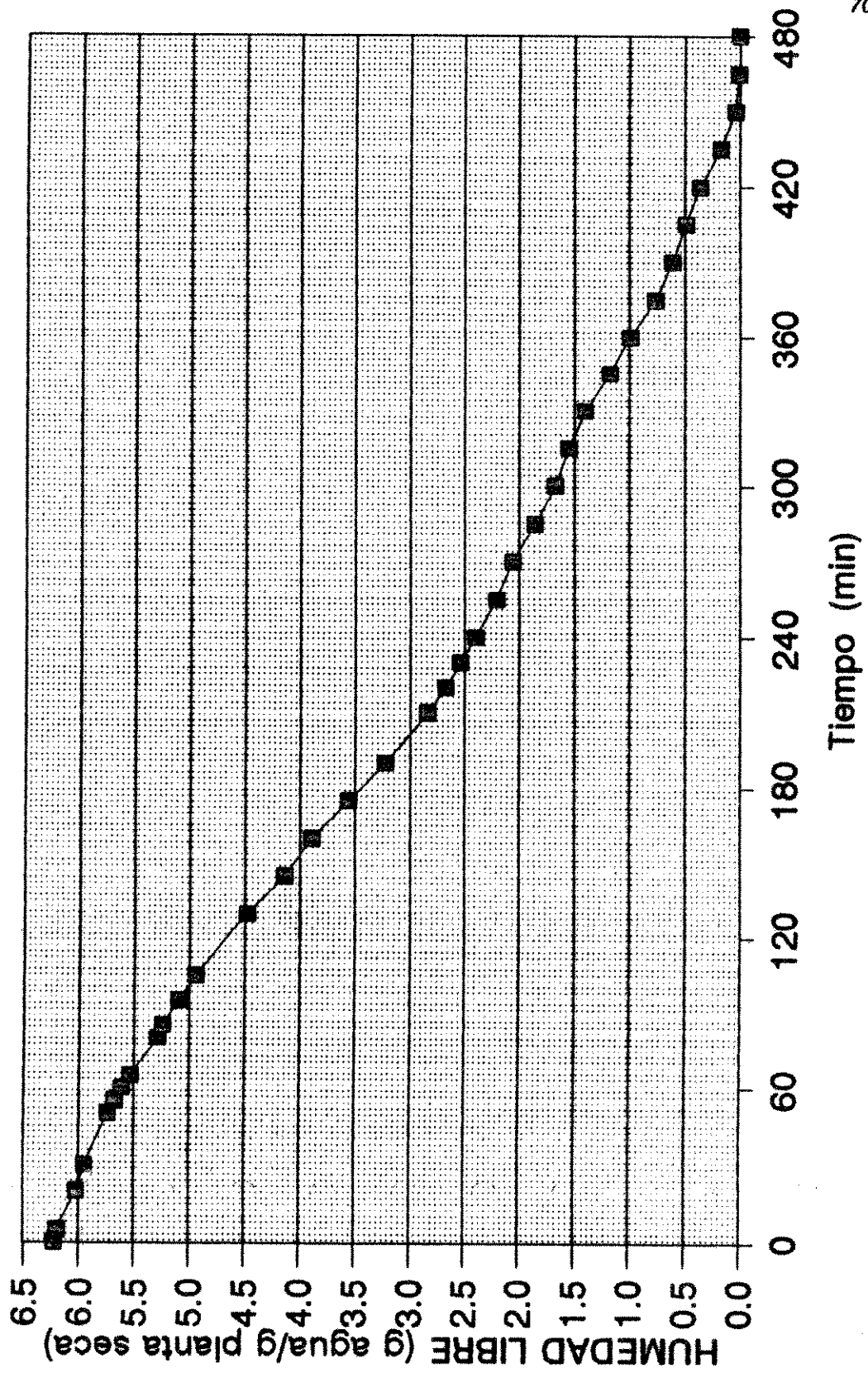


Fig. 3. Humedad libre en función del tiempo de secado, corrida No. 1

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

HUMEDAD LIBRE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO 35 GRADOS CENTÍGRADOS, CORRIDA 2

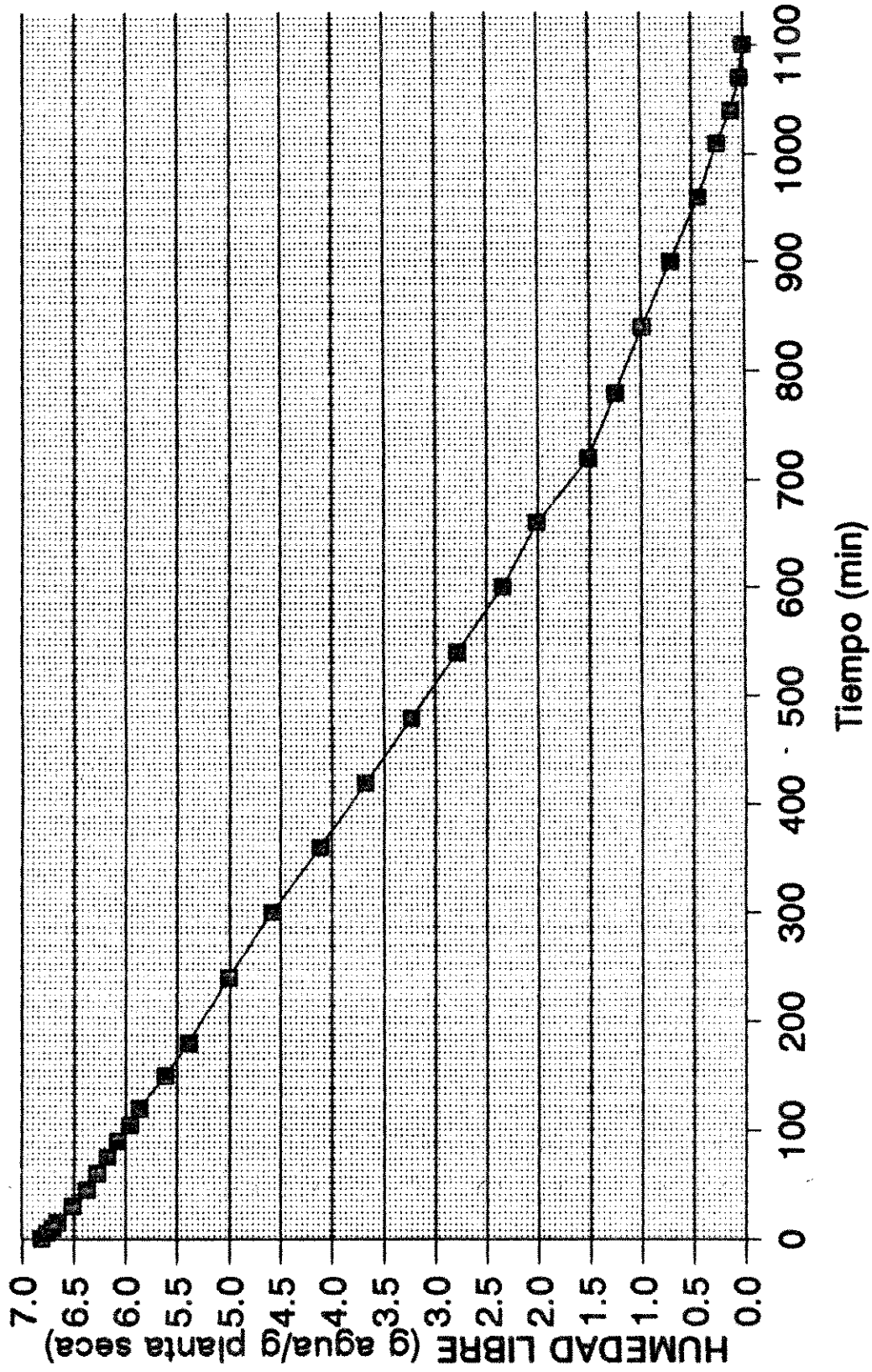


Fig. 4 Humedad libre en función del tiempo, corrida No.2

HUMEDAD LIBRE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

45 GRADOS CENTÍGRADOS, CORRIDA 2

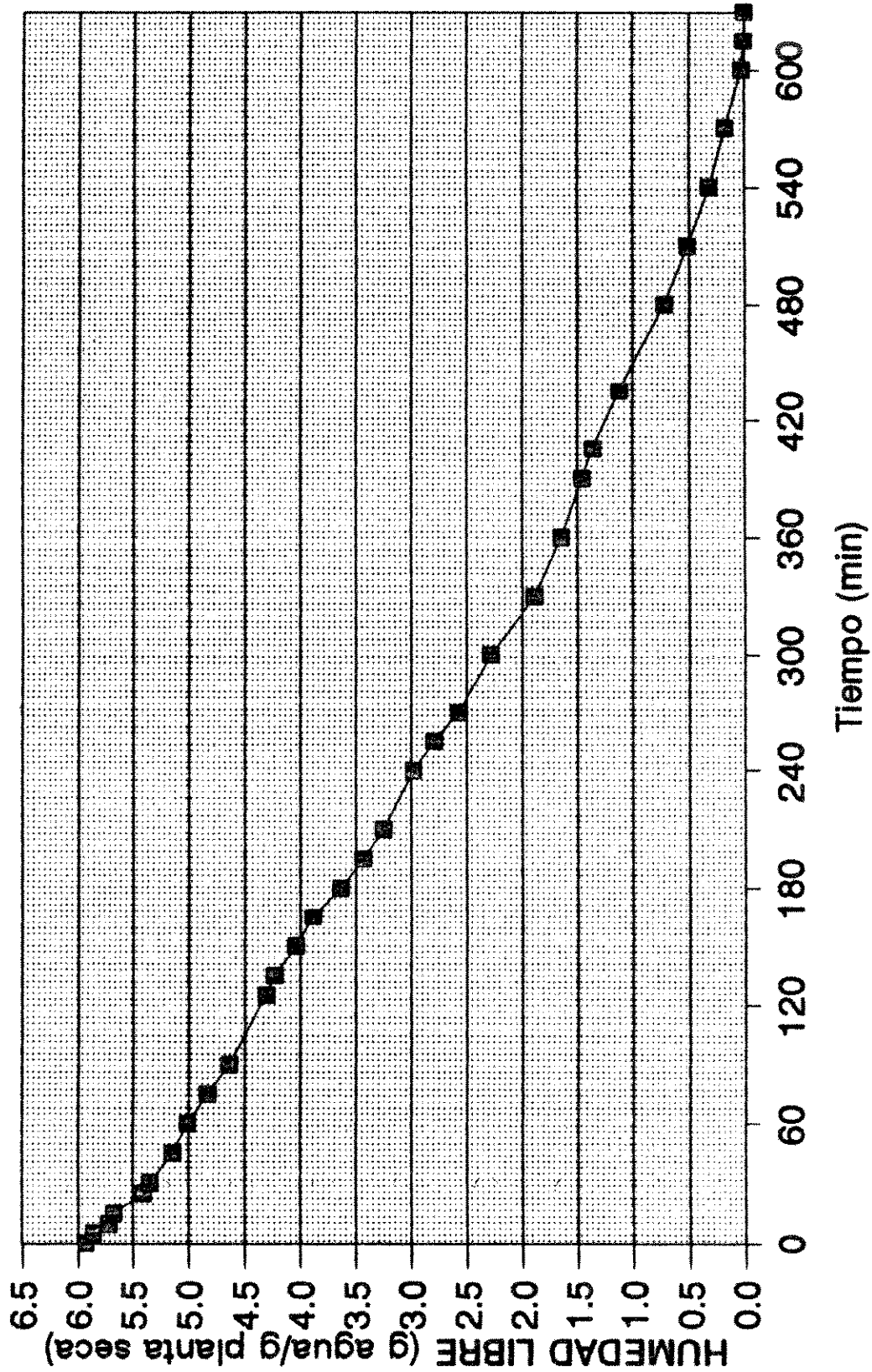


Fig. 5. Humedad libre en función del tiempo de secado, corrida No. 2

HUMEDAD LIBRE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

55 GRADOS CENTÍGRADOS, CORRIDA 2

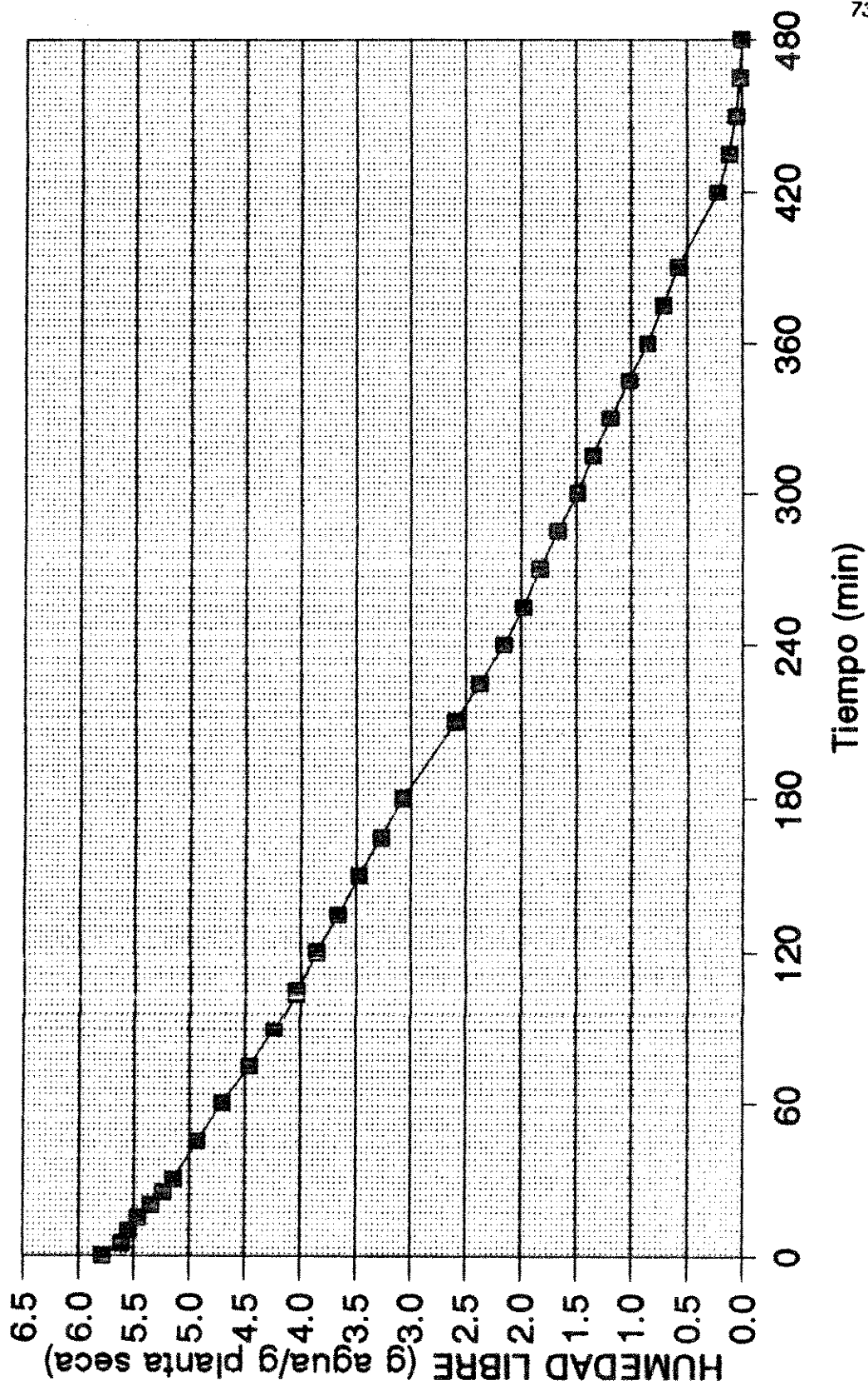
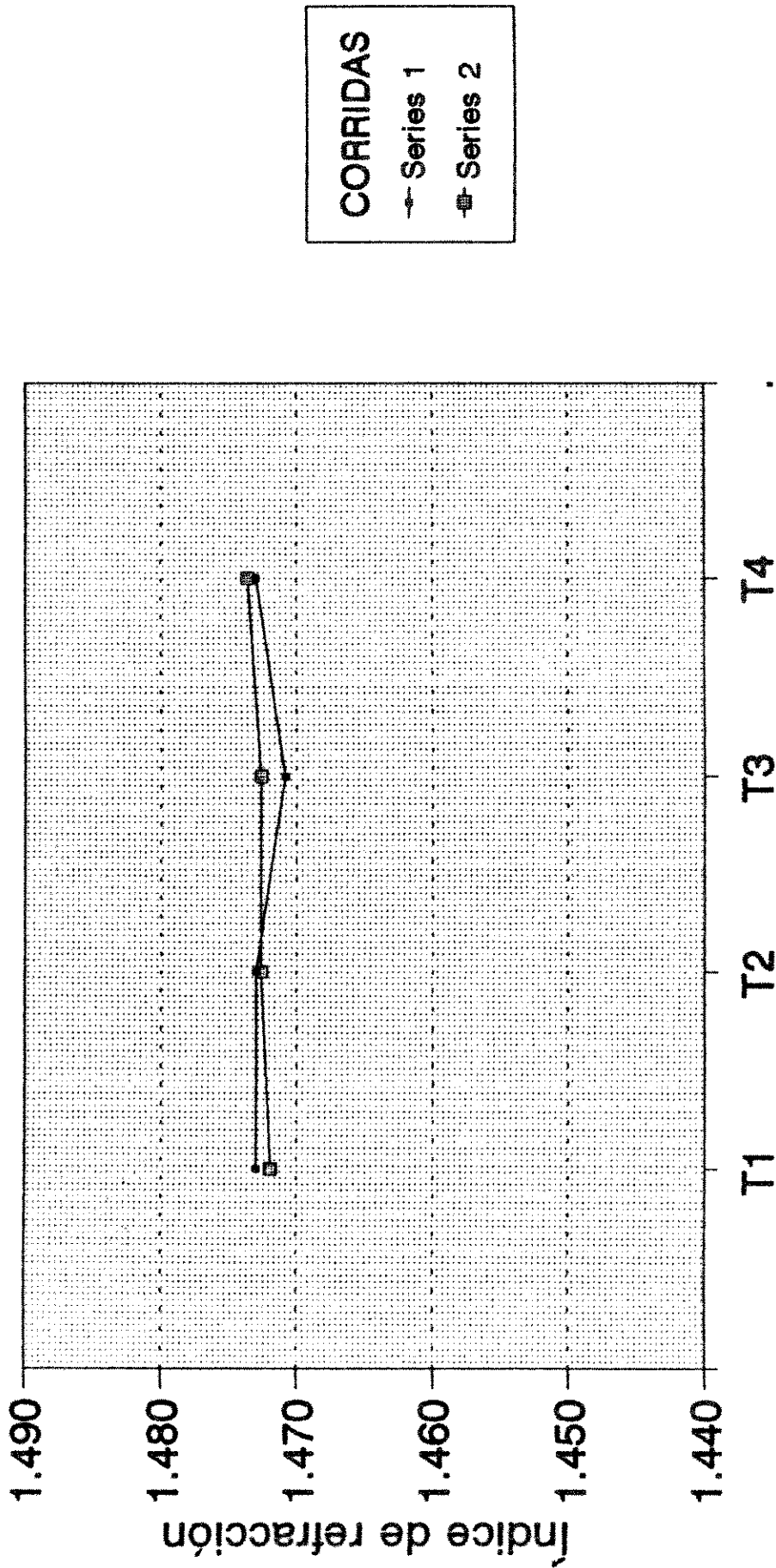


Fig. 6. Humedad libre en función del tiempo de secado, corrida No. 2

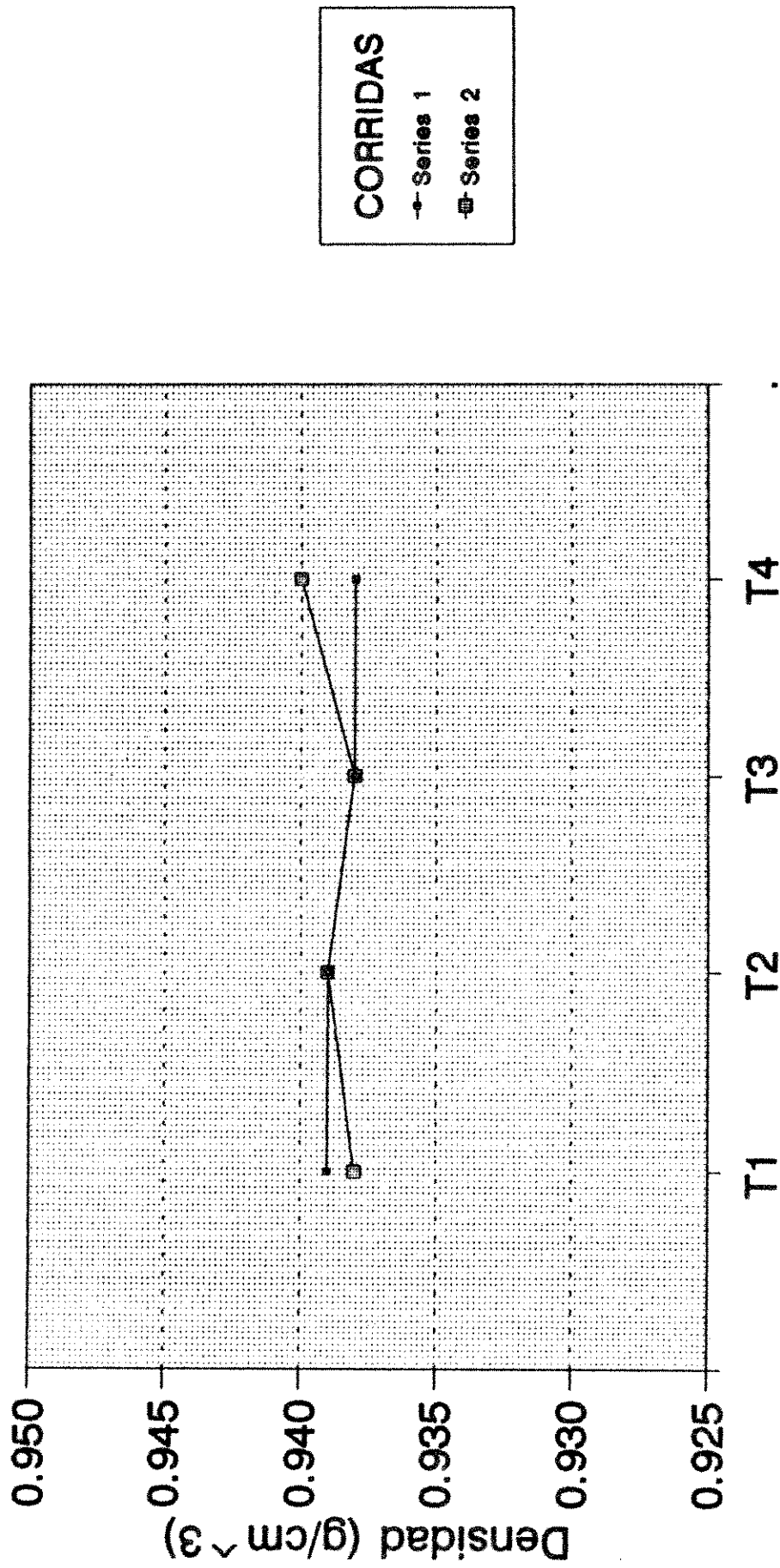
ÍNDICE DE REFRACCIÓN



Tratamiento de secado

Fig. 7. Comportamiento del índice de refracción en función de las condiciones de secado, para las dos corridas realizadas T1: Secado al sol. T2: secado a 35°. T3: secado a 45°. T4: secado a 55°.

DENSIDAD



Tratamiento de secado

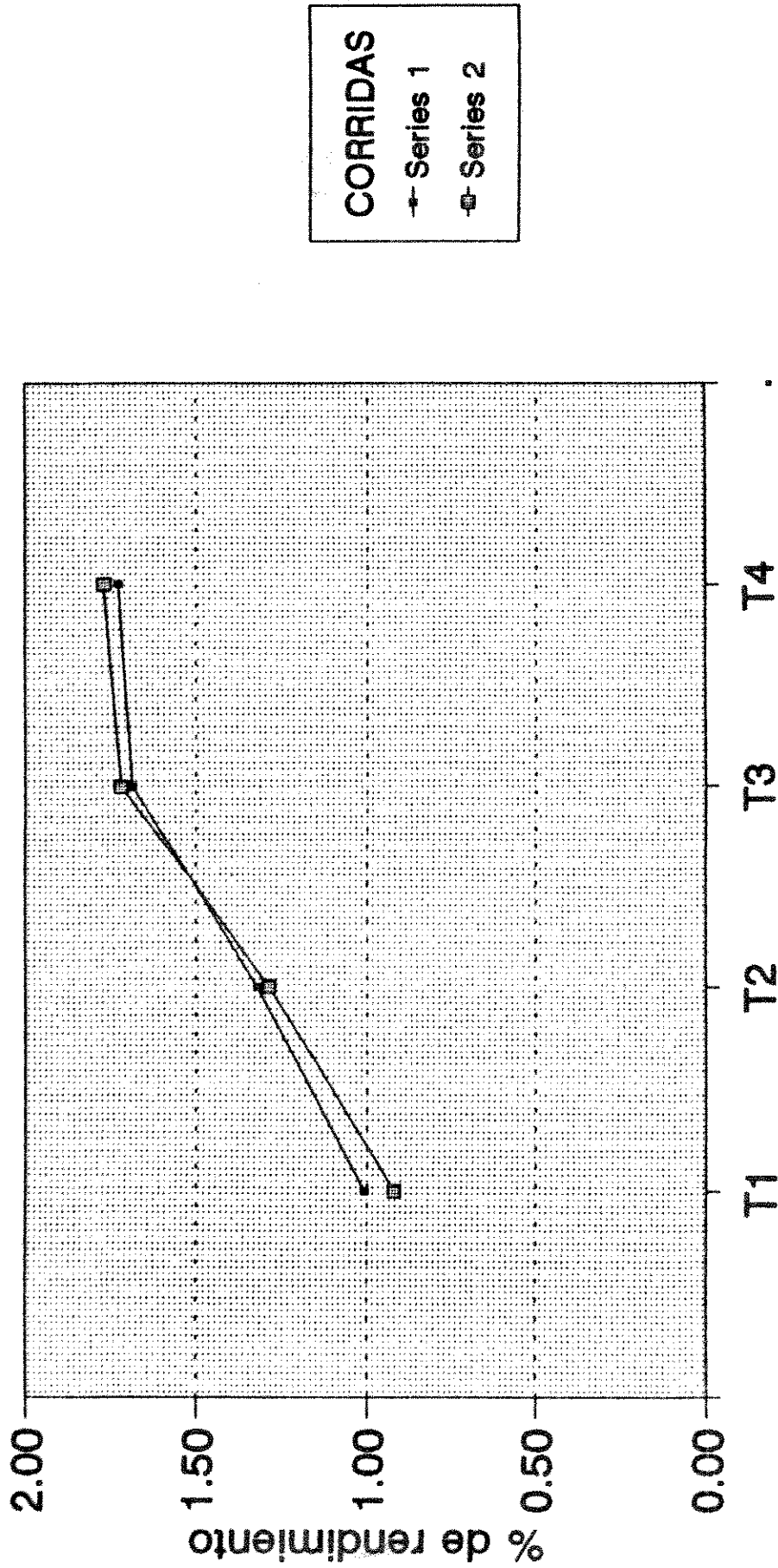
Fig. 8. Comportamiento de la densidad en función de las condiciones de secado, para las dos corridas realizadas T1: secado al sol. T2: secado a 35°. T3: secado a 45°. T4: secado a 55°.

CORRIDAS

Series 1

Series 2

PORCENTAJE DE RENDIMIENTO



Tratamiento de secado

Fig. 9. Porcentaje de rendimiento, basado en el peso de la planta fresca (200 g), en función de las condiciones de secado para las dos corridas realizadas T1: secado al sol. T2: secado a 35°. T3: secado a 45°. T4: secado a 55°.