

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE CIENCIAS E INDUSTRIAS QUIMICAS

---

# Fabricación de Acido Acético por Fermentación



ESTE LIBRO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

TESIS

QUE PRESENTA EL ALUMNO  
ANTONIO GARZA DE LA FUENTE  
PARA SU EXAMEN PROFESIONAL  
DE  
QUIMICO

MEXICO  
1933

1782

QUIMICA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
BIBLIOTECA



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A MIS PADRES  
CARLOS GARZA CASTRO  
Y  
ELOISA DE LA FUENTE DE GARZA CASTRO  
CON CARÍO Y AGRADECIMIENTO

## INTRODUCCION

Este trabajo como es perfectamente sabido, no tiene ninguna novedad científica, si me decidí a hacerlo fue debido al grande interés que puede tener todo aquello que se relacione con la economía de nuestro país, desde el punto de vista que México está consumiendo una gran cantidad de ácido acético, así como de sus sales, el cual es totalmente importado, pues en nuestro país no se produce, por no existir industrias de destilación seca de madera, fuente principal para obtener éste ácido.

Las importaciones que ha hecho México de éstos productos, desde 1930 hasta la fecha, son como sigue:

1930		1931		1932		1er. sem. 1933	
Acido Acético							
Kg	\$	Kg	\$	Kg	\$	Kg	\$
208 094	119,075	148,392	77,564	151,186	74 640	157 014	\$6.816
Sales del Acido Acético, org. e inorg.							
114,495	45 837	40,634	22,846	50.065	31 904	36,959	33,733

El valor es unicamente el de la factura consular sin contar derechos y fletes.

Desde hace muchos años es bien conocido el procedimiento de fermentación acética de líquidos alcohólicos para obtener vinagre, está perfectamente estudiado el proceso y hay una literatura bastísima a éste respecto. Un punto de vista que se persigue en la producción de un buen vinagre, es que éste tenga ciertas cualidades que lo hacen agradable al gusto y al olfato, además por lo regular tiene una baja concentración de ácido acético. Para producir ácido acético por fermentación, no importa el bouquet y se requiere que la solución obtenida de ácido acético sea lo mas concentrada posible para evitar gastos en su concentración.

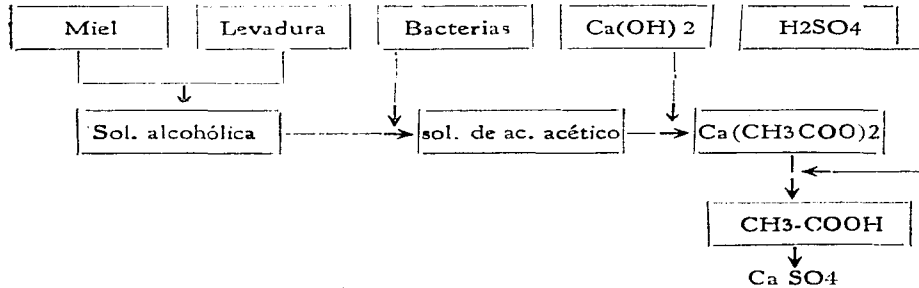
Entre las materias primas para la producción de ácido acético por fermentación, tenemos al maíz, trigo, arroz, patata, cebada, centeno y en general todos los materiales que contienen almidón; pero dadas

las legislaciones actuales en nuestro país, que prohíben la utilización de artículos de consumo necesario en otra cosa que a lo que están destinados (Ley Orgánica del Artículo 28 Constitucional) a menos que se obtengan permisos especiales de la Secretaría de Economía, cuando éstos artículos excedan al consumo y en ningún caso para fabricar alcohol, producto importantísimo que es intermediario en la fabricación de ácido acético, creí mas conveniente utilizar en mis experiencias otra materia prima: las mieles incristalizables residuales en las refinerías de azúcar de caña.

Utilizando ciertos microorganismos, como por ejemplo algunos Bacilos Termofílicos, puede emplearse como materia prima celulosa, pero todavía no se ha hecho un estudio definitivo que permita hacer un procedimiento industrial, para obtener directamente ácido acético de éste material por fermentación.

Así pues, el proceso que se expone en los siguientes capítulos, resumido es el siguiente: Fermentación alcohólica de soluciones de azúcar, luego fermentación acética de la solución alcohólica obtenida y por último concentración de ésta solución de ácido acético, hasta alcanzar unos 90-92%.

Este proceso se ve en el siguiente esquema:



## PARTE I

### EL ACIDO ACETICO

**PROPIEDADES.**—El ácido acético o Etanoico, es el mas importante de los ácidos orgánicos; fué obtenido por primera vez en estado puro en 1789 por Tobias Lowitz, por congelación y destilación fraccionada repetida del destilado obtenido de tratar con ácido sulfúrico acetatos alcalinos. Es un líquido claro, incoloro, de olor ácido picante y que aun muy diluido tiene sabor a ácido; es volátil, cristaliza a baja temperatura y es soluble en cualquier proporción en agua, alcohol, éter, cloroformo y glicerina pero no en el sulfuro de carbono. El ácido acético completamente libre de agua, (llamado ácido acético glacial) cristaliza a 16.75°C. El peso específico es 1.0553 a 15°C. y 1.0497 a 200. El ácido exento de agua hierve a 118.1°C. El calor específico es entre 0 y 100° C. de 0.497; el calor latente de vaporización es de 85 Cal, por Kg. a 118 1°C. El ácido acético líquido no es inflamable, pero sus vapores arden con llama azul formando agua y bióxido de carbono. Cuando pasa por un tubo calentado al rojo, solo se descompone una pequeña parte formando carbón, acetona, benceno, etc. El ácido concentrado se enegrece cuando se calienta con ácido sulfúrico concentrado, desprendiendo SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. El ácido nítrico y el ácido crómico no actúan sobre él. El cloro por la acción de la luz sustituye a una parte del hidrógeno y forma ácidos mono, di y tricloroacético. De análoga manera el Bromo forma ácido dibromoacético. Añadiendo agua al ácido acético cristalizable se produce calor y aumenta la densidad hasta que contiene 20% de agua; desde ésta concentración hasta 23 por ciento de agua, la densidad permanece estacionaria, de modo que tanto la dilución como la concentración a partir de éste punto produce un ácido de menor densidad. La adición de pequeñas cantidades de agua disminuye el punto de fusión del ácido acético cristalizable. Es monobásico, pero forma sales ácidas y sales básicas, lo mismo que sales normales. Disuelve algunos óxidos metálicos como los de Pb. y Cu formando acetatos básicos.

**MANERAS DE OBTENERLO.**—En la fabricación industrial del ácido acético se distinguen los siguientes productos partiendo de diferentes materias:

1o.—Vinagre de fermentación, obtenido por fermentación de alcohol.

2o.—Vinagre de madera (ácido pirolcñoso) obtenido por destilación seca de la madera o de otras sustancias vegetales que contengan celulosa o lignina.

3o.—De los residuos nitrogenados llamados flemas, resultantes de la obtención de aguardientes de vino, melazas, etc.

4o.—Acetaldehido, obtenido bien sea por la oxidación del alcohol etílico o bien del acetileno.

Los métodos 1o. y 2o. utilizan una solución acuosa de ácido acético de la que deba obtenerse el ácido concentrado.

Tanto el vinagre de fermentación como el de madera contienen rara vez más de 10 por ciento de ácido acético. De estas soluciones diluidas no puede ser separado racionalmente el ácido acético concentrado por medio de la destilación fraccionada. Por ésta razón es preciso combinar con una base el ácido acético contenido en estas soluciones acuosas para obtener por evaporación del agua el acetato seco como residuo. El procedimiento 3o. según los experimentos realizados por Effront, fundados en los trabajos de Ehrlich, sobre la obtención del aceite de fusel a partir de los aminoácidos dieron por resultado conocer que las levaduras y probablemente también otros microorganismos producen una enzima "la amidasa" que por ejemplo, de la asparraguina y ácido asparraguínico da por desdoblamiento amoníaco y ácido acético, del ácido glutamínico, amoníaco y ácido butírico, de la betaína, trimetilamina, etc. Como una vinaza de melaza contiene todos éstos aminoácidos, se necesita solamente hacerla alcalina y abandonarla a la fermentación después de agregarle sales nutritivas y levaduras o fermentos butíricos para que se complete el desdoblamiento indicado.

El procedimiento 4o. consiste esencialmente en la oxidación del alcohol a acetaldehido el cual puede aislarse fácilmente y oxidarse hasta ácido acético.

**USOS.**—1o.—Para fines alimenticios, es decir, en estado diluido como vinagre.

2o.—Para fines farmacéuticos y medicinales bajo la forma de sales alcalinas, alcalinotérreas y metálicas; para la preparación de medicamentos sintéticos como la antipirina, aspirina, antifebrina, fenacetina, éter acético, etc.

3o.—Para la preparación de perfumes artificiales como éster cinámico del ácido acético, acetatos de bornilo geranilo, etc.; ésteres del ácido acético con los alcoholes alifáticos.

4o.—Para la obtención de colorantes sintéticos como el indigo; para mordentes en la industria textil, así como para la preparación de aprestos e impregnaciones para la disolución de colorantes básicos, para fines de tintorería y estampado; para impedir la formación de lacas en los colores de estampado.

5o.—Para los fines más diversos del arte, de los oficios y de la industria, por ejemplo coagulación del látex, preparación de albayalde, preparación de la seda artificial, de la acetilcelulosa, del cuero artificial, para la fabricación de lacas y pulimentos, etc., etc.

CLASES COMERCIALES.—1o.—Acido acético bruto como el obtenido por destilación de la sal cálcica con un ácido mineral. Según el procedimiento usado puede ser de 40 a 50% (usando HCl) y de 80 a 90% (usando H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) con impurezas de ácidos inorgánicos, compuestos de alquitrán y productos empireumáticos.

2o.—Acido acético obtenido por destilación o rectificación del ácido bruto. Se encuentra libre de ácidos minerales y productos empireumáticos.

Este grupo se divide en dos: a) Acido acético acuoso designado en el comercio como ácido acético industrial, con una cantidad total de ácido de 25 a 50 por ciento, b) Acido acético libre de agua, llamado ácido acético glacial. Es de 96 a 99 por ciento y puede ser químicamente puro o industrialmente puro.

3o.—En México existe otra clase: ácido acético desnaturalizado con dos por ciento de derivados del ácido fénico o cresílico y de 50 por ciento de concentración.

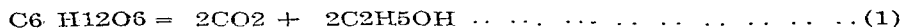


## PARTE II

### FERMENTACION ALCOHOLICA

Por el uso que se hace de los extractos fermentados de fruta como bebidas, y el poder intoxicante que aumenta en los licores destilados, la fermentación alcohólica ha sido muy estudiada por Químicos y Biólogos, así como el uso de la levadura en la manufactura de Vinos, Champaña, Cerveza y Licores destilados y su manufactura industrial; por lo tanto la literatura sobre éste respecto es muy extensa, mientras que en el caso de la manufactura del alcohol industrial, el desarrollo científico ha comenzado solo en las últimas décadas. Así parte de la ciencia de la fermentación alcohólica fué también en parte inútil, debido a que la producción económica de alcohol, requiere ahora materias primas diferentes y que el costo de producción sea bastante bajo.

**FISIOLOGIA DE LA FERMENTACION ALCOHOLICA.**—Prácticamente nada se sabía de la fermentación alcohólica, hasta que Becher en 1870 descubrió que las soluciones de azúcar son las únicas capaces de sufrir la fermentación alcohólica. Algunos años mas tarde MacBride y Van Helmont, encontraron que el gas desprendido en éste proceso era Bióxido de Carbono; Gay-Lussac formuló su ecuación para la fermentación alcohólica de soluciones de azúcar, pero consideró que la sacarosa podía ser fermentada directamente a alcohol. La ecuación que ahora se acepta y que expresa de una manera burda la fermentación de la dextrosa a alcohol es la siguiente:



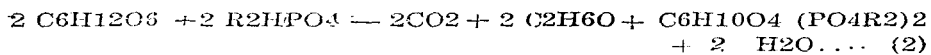
El rendimiento teórico de Bióxido de Carbono y alcohol no se obtiene nunca. La razón para la reducción del rendimiento la explicó Pasteur, quien encontró que se producían en la fermentación de los azúcares, otros productos además del alcohol y Bióxido de Carbono y

llamó la atención al hecho de que las levaduras utilizan algo de azúcar para formar nuevas células. Los resultados de Pasteur fueron 48.3% de alcohol y 46.4% de CO<sub>2</sub>.

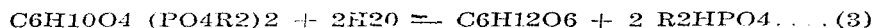
La relación de CO<sub>2</sub> a alcohol en la fermentación alcohólica varía de acuerdo con el tiempo que lleve la fermentación y la edad de la levadura. También se ha encontrado que la cantidad de levadura formada, por unidad de alcohol producido, varía ampliamente en diferentes pasos de la fermentación, formándose la mayor parte al principio.

Hoppe-Seyler hizo notar la conveniencia de una dilución suficiente en las fermentaciones alcohólicas indicando que la molécula de agua entra en la reacción.

Harden y Young, dicen que la fermentación alcohólica tiene lugar en pasos, en el primero toma parte un fosfato, el cual se admite que es necesario en la fermentación:

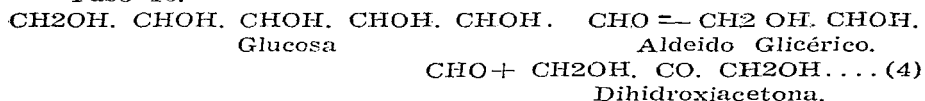


El segundo paso de Harden y Young es:

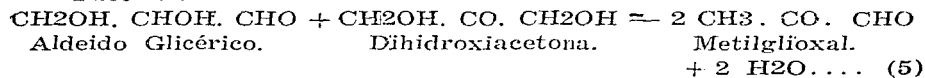


Neuberg y Reinfurth, dan los siguientes pasos para la fermentación alcohólica de la glucosa:

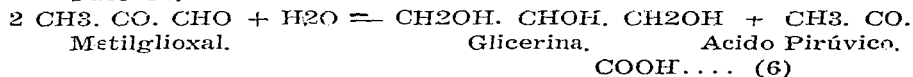
Paso 1o.



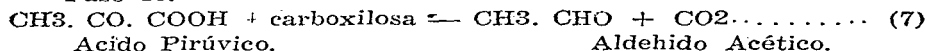
Paso 2o.



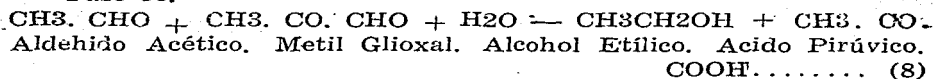
Paso 3o.



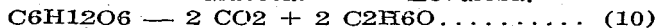
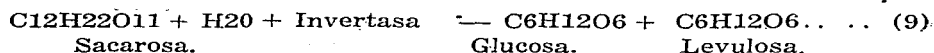
Paso 4o.



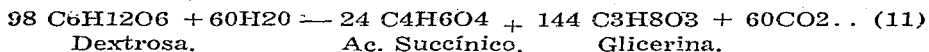
Paso 5o.



Dubrunfaut, demostró que la sacarosa no fermenta directamente a alcohol, sinó que tiene que ser convertida en otro azúcar:



Pasteur encontró en sus investigaciones sobre fermentación alcohólica, que no toda la sacarosa se convierte a alcohol y  $\text{CO}_2$ , pues una pequeña cantidad (5a 6.5 por ciento) se convierte en glicerina y ácido succínico, como sigue:



Obtuvo rendimientos gravimétricos de 0.73 a 0.76 por ciento de ácido succínico y 3.607 a 3.64 por ciento de glicerina y 1.2 a 1.3 por ciento de grasas, celulosa, etc.

Duclaux, sostiene que el ácido acético también aparece en la formación del alcohol.

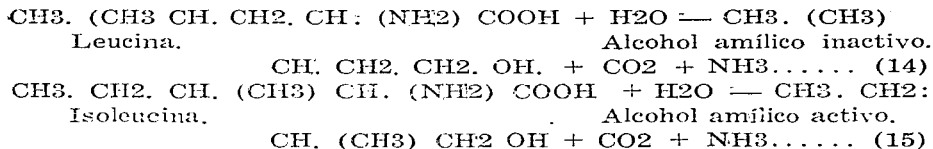
Kruse ha dado las siguientes ecuaciones para explicar la presencia del ácido acético y láctico en la fermentación alcohólica de la dextrosa:



El aceite de Fusel, es otro producto que generalmente aparece en la fermentación alcohólica del azúcar y persiste en el alcohol, aun después de la rectificación. El aceite de Fusel, es principalmente alcohol Amílico inactivo; pero siempre está acompañado por alcohol amílico activo.

Se han dado muchas explicaciones a la presencia del aceite de Fusel. Brefel sostuvo que se produce por la descomposición de los cuerpos de las levaduras muertas, los cuales comienzan a acumularse al fin de la fermentación.

Ehrlich hizo un estudio sobre la acción de las levaduras en los aminoácidos y encontró que cuando la leucina o isoleucina estaban presentes en la fermentación del azúcar, los alcoholes amílicos, activo e inactivo se producían de la siguiente manera:



Ehrlich, Haas y Hill, dicen que las cantidades producidas de éstos alcoholes, son proporcionales a las cantidades de leucina o isoleucina añadidas y aumentados bajo condiciones favorables hasta 7 por ciento, además se encontró que la leucina se desprende de su nitrógeno en forma de amoníaco, el cual no se pierde, sino parece que lo toma la levadura en la producción de nuevo material protéico. Esta observación hizo ensayar el efecto de añadir sales de amoníaco y se encontró que era un alimento nitrogenado de más fácil acceso para la levadura que el que encontraba atacando la leucina, y consecuentemente se producía menos alcohol amílico.

Otra explicación de la presencia del aceite de Fusel en el alcohol; la dieron Perdrix, Péreire y Guignard por una parte y Pringlheim por otra, quienes encontraron que ciertas bacterias en las soluciones alcohólicas, pueden producir aceite de Fusel.

Gayon y Dupetit, encontraron que la producción de aceite de Fusel se suprimía por la adición de bactericidas a las fermentaciones alcohólicas.

Además se producen en la fermentación otros productos en pequeña cantidad, tales como Acido Fórmico, Butírico, Propiónico, Valeriánico, Caprónico, Caprílico, etc.

**ENZIMAS DE LAS LEVADURAS.**—La enzima de las levaduras que origina que la serie dextrógira de las hexosas se convierta en alcohol, se le llama alcoholasa. Esta enzima la describió Buchner y la llamó zimasa; pero debido al hecho que éste término se había previamente aplicado a la enzima de la levadura que invierte lá sacarosa, el nombre de alcoholasa es el usado generalmente.

La invertasa es una enzima común a muchas levaduras, hace posible la fermentación alcohólica de la sacarosa, hidrolizando su mo-

lecula en glucosa y levulosa, los cuales pueden fermentar directamente.)

Otras enzimas presentes en muchas levaduras, son la maltasa (que convierte la molécula de maltosa en dos moléculas de glucosa) la lactasa (que convierte la molécula de lactosa en una molécula de glucosa y una de galactosa).

La enzima proteolítica endotripasa, producida por la levadura es muy importante desde el punto de vista de la fisiología celular de la misma; esta enzima es una endoenzima, permanece dentro de la célula de la levadura y actúa sobre el material intracelular.

**PREPARACION DEL MOSTO.**—La melaza se diluye, se acidifica y se añade un compuesto nitrogenado, con objeto de proveer a la levadura de N; preferentemente se usa el Sulfato de Amonio. Wiley y Sawyer dicen que es mejor diluir las melazas a que contengan doce por ciento de azúcar antes de empezar la fermentación. Cabe hacer notar que hay dos maneras de hacer la dilución de las melazas, una de ellas es dejándolas a ésta concentración aproximadamente, y la otra es dejándolas a más de 20 por ciento de azúcares para producir soluciones alcohólicas hasta de 12%, nada mas que para esto hay que acostumbrar antes a las levaduras a trabajar en éstas condiciones.

El proceso de dilución se efectúa de la siguiente manera: La miel se mide o se pesa, de acuerdo con el por ciento a que quiera dejarse al cargar la cuba de fermentación; se lleva al tanque de dilución, el cual debe de estar provisto de un sistema de agitación (de preferencia aire comprimido), en seguida se agrega agua hasta hacer bajar la densidad a unos 50° Brix, se pone el ácido sulfúrico que va a llevar el total de mosto (el cual debe quedar a una acidez de 1.5 gr. de ácido sulfúrico por litro). Se agita vigorosamente hasta homogeneización, y se pasa a las cubas de fermentación, para esto es mejor tener el tanque de dilución a un nivel superior que las cubas, para que caiga por gravedad a éstas el mosto semidiluido, y en las cubas se acaba de diluir, a unos 18° Brix. Hay veces que no es necesario agregar el sulfato de amonio al mosto por fermentar, pues éste contiene por lo general bastante material nitrogenado para alimento de las levaduras; pero sí es conveniente hacerlo en el pié, a razón de 0.5 por ciento por litro y además algo de fosfato monocálcico, para aumentar la vitalidad de las levaduras lo que trae por consecuencia mayor fuerza fermentativa y por lo tanto rapidez del proceso.

**PREPARACION DE LA LEVADURA MADRE.**—La levadura madre que se usa para inocular el mosto de las cubas de fermentación se prepara en cubas pequeñas de la siguiente manera: Se pone

el mosto que va a servir de medio de cultivo en una de estas cubas y se le agrega la levadura (cerca de diez por ciento del volumen del mosto). Para ésto puede usarse una cantidad de mosto tomado de una operación previa o una cantidad de levadura inicial cualquiera. Lo último sucede cuando la fábrica principia a trabajar o cuando se desea introducir una nueva levadura, lo primero: cuando la planta trabaja con regularidad. La temperatura debe regularse entre 16 y 20°C. variando con el volumen del mosto y las condiciones del tiempo, de manera que permita el crecimiento inmediato de la levadura. Las burbujas de gas que aparecen en la superficie al cabo de algunas horas, indican la actividad de la levadura; con la actividad de la levadura aumenta la temperatura del mosto perceptiblemente, por lo que debe tenerse cuidado de no dejarla pasar de 32° C., porque hay peligro de que el mosto se contamine con organismos tales como las bacterias acéticas, las cuales tienen un efecto perjudicial en el buen proceso de la fermentación alcohólica.

La levadura madre formada, debe ser activa y vigorosa para que al ponerla en el mosto que se va a fermentar, la fermentación empiece inmediatamente, por lo que hay que tener en cuenta, que la levadura permanece activa mientras hay azúcares en el medio en que crece, por lo tanto deberá añadirse al licor fermentecible antes de que todo el azúcar del medio que la contiene se haya agotado, esto es cuando la densidad se reduce a 4 o 5° Balling; si se deja bajar más la levadura pierde bastante vigor, por falta de alimento y retarda la fermentación.

La levadura se deja cultivar por 24 horas y la temperatura debe ser tan baja como sea posible; pero que permita un crecimiento suficiente. La acidez del mosto debe ser determinada cuidadosamente después del período de fermentación y mejor inmediatamente después de la siembra, para comparar la acidez 24 horas más tarde. No debe haber muchos cambios, ya que cualquier aumento indicaría la presencia de organismos ácidos indeseables, la supresión de los cuales es de una gran importancia. Se pueden evitar fácilmente empleando la temperatura correcta y teniendo las cubas limpias; es mejor cubrir las y esterilizarlas con vapor y lavarlas con agua limpia después de cada operación.

Cuando la acidez y la densidad del mosto son satisfactorias se toma un diez por ciento y se guarda a una temperatura menor de 12½ C. para usarse como levadura de iniciación de la siguiente levadura madre y el resto se añade al mosto por fermentar.

**PRACTICA DE LA FERMENTACION.**—Cuando la levadura y

el mosto están en la cuba de fermentación, el proceso principia y el azúcar se descompone en alcohol y CO<sub>2</sub>, el gas se desprende al aire y el alcohol queda en solución, en este punto es importante conocer la densidad y la acidez del mosto preparado.

La densidad indica la cantidad de azúcar contenido en el mosto, se determina como sigue: se agita el mosto perfectamente y se filtra una pequeña porción a través de una tela, en un recipiente adecuado; se coloca un sacarímetro de Balling en el líquido filtrado y la lectura indicará la densidad del mosto y deberá ser de 16 a 18° lo que indica que el mosto contiene de 16 a 18 por ciento de sólidos, la mayoría de los cuales son azúcares. La acidez del mosto se determina neutralizando una porción con sosa normal. Después de 10 a 24 horas la fermentación se vuelve vigorosa y la temperatura principia a elevarse rápidamente; pero no debe dejarse que suba arriba de 26°C. por que si nó se pierde una buena cantidad de alcohol a más alta temperatura. Para controlar esta temperatura, la cuba de fermentación debe estar provista de un serpentín para circular por él, agua fría. Este serpentín puede arregiarse de tal manera que pueda ser subido o bajado muy lentamente por medio de un dispositivo adecuado.

La fermentación se deja continuar a una temperatura que pueda oscilar entre 15.5 y 28.5° C. por 72 horas, al cabo de este tiempo termina la fermentación, suponiendo que las levaduras estén en condiciones normales. Para saber cuanto material fermentable del contenido en el mosto ha sido utilizado, se determina la densidad de éste la que debe ser de 1.5 a 2 en el sacarímetro de Balling. Es muy importante determinar la densidad del mostofermentado, para compararse con la que tenía antes de fermentar; la acidez debe permanecer casi la misma durante la fermentación completa, pero en algunos casos puede aumentar un poco. La fermentación puede efectuarse en presencia de cierta cantidad de ácidos y hasta es protegida; pero un exceso es perjudicial a su desarrollo. Una gran cantidad de ácido en las cubas de fermentación es debida a la formación de ácido butírico que puede ser fácilmente determinado por su olor semejante a la manteca rancia y es causado por porciones de mostofermentado que se deja acidificar en las cubas o por mala limpieza después de cada uso. Este inconveniente puede ser prevenido por la limpieza perfecta de las cubas tan pronto como se vacían, con solución al 5% de formalina o de algún otro desinfectante. Para controlar adecuadamente la fermentación, deben determinarse la densidad y la acidez cada 24 horas. Como ya se ha dicho, la densidad debe bajar rápidamente y la acidez permanecer la misma o aumentar lige-

ramente. Si no sucede ésto, se deberá a que el mosto está a una temperatura demasiado baja para que el desarrollo de la levadura se efectúe normalmente o también puede ser que ha habido desarrollo de organismos ácidos que retardan la fermentación. Si las condiciones de temperatura han sido la causa, ésta se elevará un poco; pero si abundan en el mosto organismos perjudiciales, deben ser suprimidos de una vez para prevenir subsecuentes infecciones.

**EXPERIENCIAS.**—Lo primero que se hizo fué obtener un cultivo puro de levadura (*sacaromices cerevisiae*) tomando como punto de partida una poca de levadura que me regalaron en una fábrica de alcohol que visité. Para ésto se siguió la técnica de dilución, que explico más adelante en el siguiente capítulo y con este cultivo puro desarrollado en infusión de ciruelas pasas se hicieron las experiencias que siguen: Se efectuaron 15 fermentaciones, 5 utilizando todo el material, mosto, etc., esterilizado y 10 sin esterilizar nada; pero si haciéndolo todo con el mayor cuidado y utilizando cultivo puro de levadura en cantidad suficiente para que la fermentación se efectuara rápidamente, antes que otros gérmenes pudieran contaminar el mosto. En todos los casos la temperatura de trabajo fué más o menos constante entre 20 y 21° C. También hay que hacer constar, que los materiales azucarados usados fueron en todos los casos provenientes de piloncillo.

Se efectuó la solución del piloncillo con agua caliente y se dejó el mosto a 12% de azúcares fermentecibles. Acidificado convenientemente con ácido sulfúrico (1.5 gr. por litro) se efectuó la siembra; al cabo de 72 horas, se determinó la cantidad de alcohol producido, destilando el líquido e introduciendo un alcoholímetro de Gay-Lussac. En los 5 primeros casos se obtuvo respectivamente: 5.4, 5.42, 5.46, 5.43, y 5.5% de alcohol y en los 10 restantes, cinco de ellos se hicieron sin agregar nada más que líquido fermentecible y levadura y se obtuvo 5.05, 4.85, 4.92, 4.98 y 5.03% de alcohol. En los cinco restantes se les agregó pequeñas cantidades de fosfato monocalcico y sulfato de amonio en las siguientes proporciones:

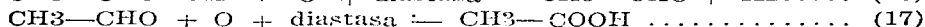
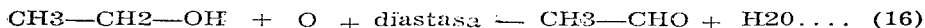
Fermentación Núm.	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaH <sub>4</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	% de alcohol
11	0.5%	0.1%	5.52
12	0.5%	0.15%	5.52
13	0.5%	0.2%	5.53
14	0.5%	0.05%	5.5
15	0.5%	0.075%	5.5



### PARTE III

#### FERMENTACION ACETICA

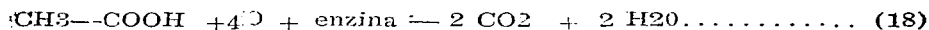
**GENERALIDADES.**—Desde hace muchos años es conocida la propiedad que tienen las soluciones alcohólicas expuestas al aire, de transformarse en ácidas, debido a la influencia que ejercen ciertas bacterias de la fermentación. La mayor parte de las veces se transforman en soluciones de ácido acético debido a las bacterias de la fermentación acética.



En realidad la reacción es más compleja pues hay formación de ácidos grasos superiores, ácido succínico, etc.

Como se ve, la transformación de la solución requiere contacto amplio con el oxígeno del aire y entre más extensa sea la superficie de contacto de la solución con el aire, tanto más rápida será la transformación. A ésto se debe que mientras más delgada esté la película formada en el líquido en fermentación, las bacterias trabajarán mejor.

Pasteur demostró que el ácido acético generado por la fermentación del alcohol, es transformado si la oxidación continúa, en bióxido de carbono y agua según la siguiente ecuación:



Según las ecuaciones (16) y (17), 100 gr. de alcohol deberían dar 130 gr. de ácido acético, pero en realidad el rendimiento es un poco menor.

Nuestros conocimientos actuales de las bacterias acéticas, se

deben a los experimentos hechos por Buchner, Meisenheimer y Herzog, quienes probaron que esta fermentación se efectúa por la actividad de una enzima producida por estas bacterias. Brown, Boutroux, etc., encontraron que las *B. acéticas* son capaces de formar ácido glucónico de la glucosa y azúcares semejantes; pero no de la levulosa, aunque las diferentes especies se comportan de diferente manera a este respecto.

Las *B. acéticas* para nutrirse, necesitan materias hidrocarbonadas, nitrogenadas y sales minerales; como sustancias minerales exigen únicamente fosfatos y de preferencia de Mg, K, Ca, y Na, algunos miligramos por litro son suficientes; como material nitrogenado utilizan albuminoides, así como sales de amonio, como fosfato ácido; también algunas milésimas por litro son suficientes. Si hay un exceso de éstas el velo se vuelve espeso y gelatinoso y las *B.* trabajan mal, pues quedan aprisionadas en un mucus que impide su contacto con el aire. Las materias hidrocarbonadas son indispensables a su nutrición y prefieren el alcohol etílico, aunque también se desarrollan en algunos azúcares. No conviene que haya más de 14% de alcohol, pues o no se desarrollan o lo hacen muy lentamente y se forma más aldehído acético que ácido. Con un líquido alcohólico de riqueza media, (12 a 14%) se desarrollan normalmente. Cuando el alcohol está casi transformado o el contenido alcohólico es de 2% las *B.* siguen su función oxidante y transforman el ácido acético en bióxido de carbono y agua según la ecuación (18).

Para asegurar un buen desarrollo, el medio no debe ser ni muy ácido ni alcalino ni antiséptico.

La luz solar directa y la luz difusa son obstáculo a su desarrollo; se ha estudiado experimentalmente la influencia de los diferentes elementos de la luz solar sobre el desarrollo de las *B.*, y se ha demostrado que la acetificación es más intensa en el rojo que en el violeta y aumenta pasando del violeta al rojo. Los rayos ultravioleta tienen una acción nociva.

La fermentación acética tiene también su límite, cuando la concentración de ácido acético en un licor ha alcanzado 8%, la actividad de los organismos que lo forman se vuelve lenta y más lenta y cesa cuando ha alcanzado una concentración de 12 a 14% de ácido.

**BACTERIAS DE LA FERMENTACION ACETICA.**—Existe un gran número de *B.* capaces de efectuar la fermentación acética, la siguiente es una lista de las especies más conocidas:

**Bacterium Aceti**

Pasteurianum  
 Kützingianum  
 Xilinum  
 Acetigenum  
 Oxidans  
 Industrius

Acetosum  
 Ascendens  
 Aceti Viscosum

**Bacterium Schützenbachi.**

Curvum  
 Orleanense  
 Xilinoides  
 Vini Acetati  
 Aceticum Rosaceum

**Termobacterium Aceti (B. Zeidlereri)**

Acetobacteria Melanogenum  
 Lactobacilo Pentoacetico  
 Bacilos Termofilicos

Además algunas microbacterias y levaduras patógenas.

**B. Schützenbachi.**—Se presenta en células redondeadas, ovales y alargadas, a menudo también en forma de hoz o irregularmente en formas torcidas e infladas; a veces se presenta aislado y a veces en cadenas. En mosto de cerveza con gelatina su forma es redonda, forma colonias claras y brillantes con un centro pardo-amarillento. En cerveza con gelatina las colonias viejas tienen una superficie granular blancuzca. Las películas muy delgadas que forma en los líquidos, se caen al fondo como gránulos. La temperatura óptima de crecimiento es entre 25 y 27.5° C.

**B. Orleanense.**—Las células varían de forma de esferas a formas pronunciadas de bastoncillos con todas las transiciones posibles; los bastones son rectos o torcidos, aislados o eslabonados en cadenas, también se encuentran células hinchadas. En mosto de cerveza con gelatina se desarrollan colonias blancuzcas irregulares. En cerveza con gelatina las colonias viejas son rojizas con una superficie húmeda brillante. La temporada óptima es de 30° C. y más tarde entre 20 y 30°. Esta especie puede ser usada en el proceso rápido alemán.

**B. Aceti.**—Forma una película uniforme y lisa sobre cerveza a 34° C. en el curso de 24 horas; la película no se colorea por el yodo, las células de esta película consisten de bacterias en forma de 8 y arregladas en cadenas. En cultivos en placa de malta con gelatina a 25° forman colonias con bordes perfectamente definidos y más raramente colonias en forma de estrellas, las cuales se ven grises por la luz refleja y azules por la luz a través; consisten principalmente por bacterias aisladas. En caldo de gelatina con peptona las colonias se rodean de zonas lechosas separadas por zonas claras; más tarde se pueden volver iridiscentes. En la cerveza la temperatura máxima de crecimiento es 42° C. la mínima de 4 a 5 y la óptima 34° C.

Se desarrollan bien en forma de un velo espeso en la superficie de un líquido formado por cien partes de agua, 3 partes de alcohol, 0.05 partes de fosfato, ácido de amonio y 0.01 partes de cloruro de potasio.

*B. Pasteurianum*.—Forma película seca sobre cerveza a 34°, la que pronto se encoge y se pliega. En películas jóvenes sobre cerveza o malta a temperaturas favorables la envoltura que rodea la célula se colora de azul con el yodo. Forma cadenas largas y son en general más grandes y anchas que la especie anterior. En cultivos en placa de malta con gelatina a 25° las colonias se parecen a las de la especie anterior pero son más pequeñas y consisten de cadenas principalmente. En cerveza la temperatura máxima de crecimiento es 42° C. la mínima 5 a 6°. No se desarrollan en el medio mineral anterior.

*B. Kützingerum*.—Forma una película seca sobre la cerveza a 34° C. que se sube a los bordes del recipiente, la película se colorea de azul bajo las mismas condiciones que la especie anterior. La película consiste de bacterias pequeñas que están más frecuentemente aisladas o en pares y rara vez en forma de cadenas. En cultivos en placa de gelatina con malta a 25° C. las colonias son análogas a las de las 2 especies anteriores; en cerveza la temperatura máxima de crecimiento es de 42° C. y la mínima de 6 a 7.

*B. Xilinum*.—En la superficie de la cerveza da velo mucoso tan áspero y consistente como el cuero, esta película presenta la reacción de la celulosa. El desarrollo consiste de bastoncitos sin movimiento parecidos al *B. Aceti*.

*B. Aceti Viscosum*.—Provoca una viscosidad muy marcada, forma baccinicos móviles o inmóviles generalmente de 1.2 micras de largo y 0.5 de ancho generalmente reunidos en pares. Las formas de involución son raras, su temperatura óptima es de 20 a 25° C. Crece vigorosamente en una solución de glucosa y peptona, en agua de malta da una turbidez uniforme formándose un anillo gris y una película ligeramente gris gelatinosa y sumergida; gradualmente se forma un sedimento viscoso y el líquido se vuelve bastante claro pero decididamente viscoso. Esta propiedad desaparece en unas cuantas semanas. Sobre malta con gelatina la superficie de la colonia es ligeramente púrpura con estructura radiada.

**PRACTICA DE LA FERMENTACION.** — Procedimiento Alemán.—El método alemán es el llamado rápido, porque tiene la ventaja sobre algunos otros métodos que una gran superficie de líquido

en contacto con las B. acéticas está expuesta al aire y por lo tanto se produce una oxidación rápida y enérgica.

Para que el líquido presente superficie libre bastante a la acción del oxígeno del aire y de las bacterias, es obligado a caminar de arriba a abajo en columnas bastante elevadas y durante este trayecto se divide en pequeñas gotas aumentando así considerablemente su superficie de ataque.

La división del líquido se obtiene por los fragmentos de viruta de madera de Haya que se colocan dentro del acetificador. El líquido caminando de arriba abajo, se encuentra en contacto con una corriente de aire que recorre la columna de abajo a arriba, de tal suerte que en la parte alta de su curso está en presencia de aire poco cargado de oxígeno y entre más avanza encuentra una proporción cada vez mayor de oxígeno en el aire y al llegar a la base de la columna se encuentra con aire de composición normal.

El contacto de las gotitas con el oxígeno, se hace no solamente por esta corriente de aire ascendente, más todavía al pasar por las cavidades que tienen las virutas en donde hay cierta cantidad de aire. Un arreglo externo particular permite tener en el interior de las columnas, una temperatura propia a la acetificación. Las bacterias acéticas se encuentran a la vez en las gotitas y en los fragmentos de madera, que forman un filtro burdo en el interior de la columna y son las que transportan el oxígeno del aire al alcohol del líquido por acetificar.

Debido a su gran actividad vital y a sus propiedades fuertemente oxidantes, las bacterias viven con una débil cantidad de elementos minerales que encuentran en la dilución alcohólica, que oxidan y a la que se añade 1 por 10 de mosto nutritivo de azúcar o cereales. Como todo ser viviente, son susceptibles de evolucionar y someterse a las condiciones de existencia en las que se encuentran y ésta transformación constante de un líquido débil en elementos orgánicas, ha producido en las variedades de las bacterias del método alemán, que se efectúe una verdadera selección natural, poco a poco, eliminando a las menos resistentes, es decir las que exigen la mayoría de elementos nutritivos minerales.

Generador de ácido. (Essigbilder).—El aparato alemán para producir el ácido, está constituido por un recipiente de madera cilíndrico o cónico colocado verticalmente sobre dos soportes. Su altura varía de dos a cinco metros y su diámetro de 1 a 1.30 m. o sean aproximadamente 3 m<sup>3</sup> de capacidad útil. Está provisto de dos falsos fondos, uno en su parte superior y otro en la parte inferior. Aparte

de los agujeros para entrada del líquido, la tapa lleva unos tubos de vidrio de 10 a 15 mm. de diámetro y de 15 a 20 cm. de longitud, para permitir el escape del aire. El aparato tiene en su parte superior una cubierta provista de aberturas reguladoras. El fondo inferior está

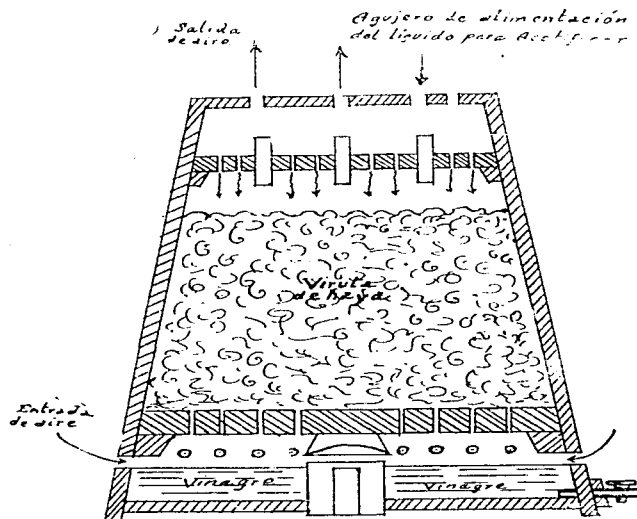


Fig. 1.—Acetificador usado en el proceso rápido alemán

dotado de una especie de chimenea que hace tiro y que lleva arriba una tapa que impide la entrada de líquido permitiendo la entrada de aire y en su parte inferior una trampa que puede cerrarse más o menos. Por unos agujeros laterales oblicuos, se permite igualmente la entrada del aire sobre el vinagre que se acumula en el fondo. Un sifón permite la salida del vinagre y un termómetro que entra hasta el centro del aparato da la temperatura de acetificación, permitiendo así el darse cuenta del funcionamiento del aparato. Entre los dos fondos, está lleno de viruta de Haya, fragmentos de sarmiento o carbón, en suma, todo cuerpo que puede dejar intersticios. Es nece-

sario tener cuidado de someterlos previamente a un lavado cuidadoso y sumergirlos durante 24 horas por lo menos en vinagre.

Funcionamiento del aparato.—Lo primero que debe hacerse es lavar el aparato donde se va a trabajar, con vapor si se dispone de un generador, o sino con vinagre caliente. Después de estar empapado el acetificador con vinagre rico en B., se puede principiar a dejar caer el líquido por acetificar con la ayuda de un embudo sobre el falso fondo superior; se extiende en una capa delgada y el escurrimiento debe producirse muy lentamente, con la ayuda del pequeño diámetro de los agujeros de ésta pared. Algunos fabricantes ponen en cada uno de los agujeros un hilo retenido por un nudo de manera que este sirva de conductor al líquido, pero se prefiere suprimir los hilos para evitar la contaminación que puede dar tal dispositivo y mejor uniformizar el escurrimiento por un diámetro más pequeño de los agujeros de entrada y aumentando también el número de éstos. Al caer el líquido se extiende sobre la masa inferior del aparato, camina sobre toda su superficie y se mete en todos sus intersticios; cae poco a poco, gota a gota y desciende lentamente. Al ir cayendo se pone en perfecto contacto con el aire que sigue un camino inverso, se oxida y transforma gradualmente y al llegar al fondo de la cuba ya está en forma de vinagre. La oxidación produce un ligero desprendimiento de calor provocando la formación de una corriente de aire frío que entra en la parte inferior del aparato. La entrada y salida del aire se regula por llaves que se encuentran en la parte inferior y superior sobre los dos fondos del aparato. Al principio se construyeron generadores sin abertura central en el fondo inferior, pero el aire entraba anularmente sobre la viruta y caminaba de la misma manera en toda la masa y así la acetificación marchaba más rápidamente en la periferia que en el centro. Con los nuevos aparatos se ha suprimido este inconveniente. Según Knapp, que hizo numerosas experiencias a este respecto dando al acetificador un volumen de aire aproximadamente diez veces mayor que el correspondiente al oxígeno necesario teóricamente para la oxidación del alcohol, este aire sale ligeramente caliente y algo saturado de ácido por lo que no debe utilizarse un volumen demasiado grande para evitar un desperdicio considerable.

La alimentación se hace gradualmente, se le suministra primero una pequeña cantidad de líquido para llegar a darle al final el correspondiente a su rendimiento máximo. El producto que se recoge en la parte inferior se remonta con la ayuda de bombas a la parte su-

perior de una cuba análoga para que la transformación se continúe, haciéndosele así sufrir tres o cuatro pasos sucesivos en cubas colocadas en serie. Podrían colocarse estas series de cubas escalonadas para evitar la remonta del vinagre, pero este dispositivo necesita la construcción de locales especiales tan grandes y costosos que se ha tenido que renunciar a ellos.

El mosto debe ser repartido en el acetificador en pequeñas cantidades y a intervalos regularmente separados, con el fin de evitar un arrasire de las bacterias que se encuentran en la superficie de la viruta, por una corriente demasiado brusca. Esta maniobra es necesario confiarla a un empleado cuidadoso y consciente o mejor utilizando distribuidores automáticos, como por ejemplo sistemas de alimentación de báscula regidos por el peso mismo del líquido o por un mecanismo de relojería. La marcha del aparato está indicada por la temperatura que marca un termómetro que penetra hasta el centro de la cuba. Los prácticos viejos, que tienen el olfato muy desarrollado se aseguran de la buena marcha del aparato poniendo sus manos sobre las paredes y oliendo en la parte superior los vapores resultantes de la evaporación. La temperatura óptima para la acetificación es 30 grados C.; las bacterias están entonces en las mejores condiciones de desarrollo y la pérdida por evaporación no es muy considerable. Prácticamente la reacción no desprende suficiente calor para mantener ésta temperatura por lo tanto es necesario cuidar que la temperatura del local sea siempre elevada a fin de que el aire que entra en el aparato esté suficientemente caliente. Sobre todo debe evitarse las bruscas variaciones de la temperatura del aire utilizado que traerían una repercusión inmediata y nefasta en el rendimiento. Se deben tener termómetros en el interior del local y calentarlo más o menos según la época del año. Así arreglados y alimentados, éstos aparatos funcionan continuamente, añadiéndose líquido a la parte superior constantemente, para recibir vinagre en la parte inferior.

Rendimiento.—Se admite que un acetificador de 2.5 metros de alto transforma en 24 horas tres litros de alcohol absoluto o sea un hectólitro de alcohol a 9° en tres días. Es interesante citar comparativamente el rendimiento de una fábrica que trabaja por el procedimiento de Orleans que no puede transformar arriba de 400 c. c. de alcohol por día.

Si se observa una disminución en el rendimiento es debido a una brusca variación de la temperatura del aire empleado o a un cambio de composición del mosto por acetificar, o también al desarrollo de



organismos indeseables en el acetificador. En este último caso se debe vaciar el aparato y lavarlo con agua hirviendo o mejor con vapor antes de ponerlo a funcionar de nuevo.

El método Alemán tiende sobre todo, a la cantidad y no a la calidad del producto final, las bacterias acéticas son muy sensibles a altas dosis de alcohol que pueden obrar como antiséptico y detener completamente su acción.

EXPERIENCIAS.—En el desarrollo de éste trabajo lo primero que se hizo fué la preparación de varios cultivos puros de bacterias acéticas.

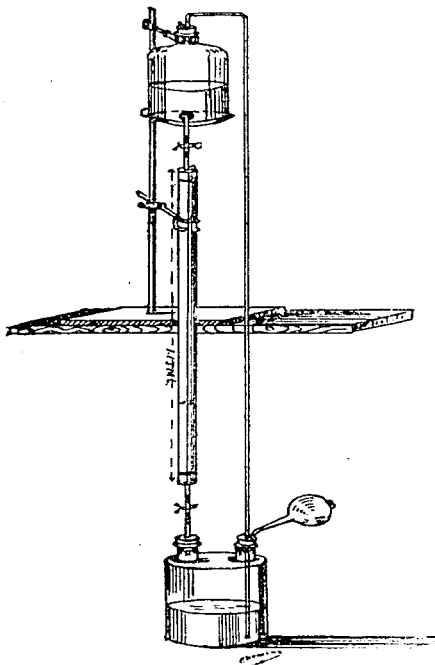
En la obtención de cultivos puros se tomó como fuente de obtención dos cosas diferentes: jugo de frutas en fermentación espontánea y vinagre producido por fermentación y no esterilizado.

En el primer caso se tomó una piña muy madura que principiaba a podrirse, se molió y agregándole una poca de agua quedó abandonada al aire y a la temperatura ambiente por varios días, (6 a 7) en el transcurso de los cuales se hicieron frotis y se vieron al microscopio; al tercer día se notó cierta cantidad de levaduras salvajes que aumentaron a los 3 días notablemente, así como a los cuatro, a los 5 se comenzó a notar su disminución (en la superficie) y comenzaron a aparecer bacterias acéticas que aumentaron notablemente a los seis días formando una película que cubría toda la superficie del líquido. En estas condiciones se tomó un fragmento de la película con una asa de platino y se introdujo en un tubo que contenía cerveza con gelatina todavía licuada y se agitó vigorosamente; se introdujo el alambre de platino en este tubo y se hizo lo mismo con un segundo y de este se pasó a un tercero. En seguida se vertió el contenido de los tres tubos en diferentes cajas de Petri esterilizadas, dejando en seguida solidificar el medio. Al día siguiente y al tercer día fueron apareciendo colonias en las tres cajas de Petri que se fueron observando sus caracteres macroscópicos y microscópicos y de la tercera dilución que fué donde se obtuvieron colonias bien aisladas, se sembró en un tubo que contenía cerveza y así se obtuvieron finalmente cultivos puros de *B. Pasteurianum*, *B. Aceti*, y levaduras que mostraban todas las características microscópicas y fisiológicas.

Siguiendo una técnica idéntica pero utilizando vinagre obtenido por el procedimiento rápido alemán se aisló el *B. Schützenbachi*.

Las principales experiencias se hicieron con esta bacteria en un aparato improvisado y de acuerdo con las experiencias de Henneberg. El aparato consiste de un tubo de vidrio de 115 cms. de longi-

tud por 5 cms. de diámetro, lleno con virutas de madera porosa. La viruta y el tubo se esterilizaron con alcohol y el mosto por ebullición con refrigerante de reflujo. El mosto pasteurizado caía gota a gota de un frasco de Woolf esterilizado colocado en la parte superior y pasando por la viruta se recogía en otros frasco de Woolf también esterilizado. Este frasco tenía un dispositivo que permitía elevar el



*Fig. 2.*—Acetificador de Laboratorio de Henneberg.

líquido recogido al frasco superior para que volviera a circular. Arreglado así el aparato permitió que todo se hiciera asépticamente, pues el aire que entraba se filtró por algodón. La temperatura se mantuvo entre 25 y 30°C. Todos los accesorios para sacar muestras, con-

ducir mosto, etc., estaban esterilizados. En las pruebas hechas se dejó caer el mosto gota a gota varias veces a través del tubo. Con tres veces era suficiente cuando el aparato trabajaba normalmente. La cantidad máxima que se obtuvo en este pequeño acetificador fué 8.8% de ácido acético y el principio de la formación del ácido se comenzó a efectuar al cabo de 3 días de trabajar el aparato.

Al principio se le hizo pasar unos 500 cc. de cultivo de B. Schützenbachii por dos veces sucesivas; después se introdujo licor alcohólico de la siguiente composición: alcohol diluido en agua al 5%, 800 cc.; solución de azúcar al 3%, 200 cc.; 0.5 gr. de fosfato, ácido de amonio y 0.1 gr. de sulfato de magnesio. Se dejó caer gota a gota pasando dos veces diarias por el aparato; al tercer día se notó que principiaba la formación de ácido acético según una muestra tomada; a los 5 días había 3.6% de ácido y hay que tener en cuenta que el alcohol quedó al 4%. El aparato siguió trabajando con nuevo mosto de la misma composición y la acetificación cada vez fué más rápida como se verá en el siguiente cuadro:

Fermentación No.	% de alcohol	Días	Pasadas	% de ácido
1	4	5.5	11	3.6
2	4	3.5	7	3.4
3	4	3.5	7	3.4
4	4	3	6	3.43
5	4	3.	6	3.51
6	4	2.5	5	3.53
7	4	2.5	5	3.6
8	4	2.5	5	3.37
9	4	2.	4	3.55
10	4	2.	4	3.64
11	6	2.	4	5.5
12	6	2.	4	5.65
13	6	2.	4	5.8
14	6	2.5	5	5.9
15	6	2.5	5	6.14*
16	7	2.	4	6.63
17	7	2.	4	6.78
18	8	2.	4	7.49
19	8	2.	4	7.82
20	8	2.	4	7.98*
21	8.5	1.5	3	7.69
22	8.5	1.5	3	8.3
23	8.5	1.5	3	8.43
24	8.5	1.5	3	8.5
25	9	1.5	3	8.8
26	9	1.5	3	8.63
27	9	1.5	3	8.7

(\*) En estas dos pruebas fué donde se obtuvo un rendimiento mayor, sobre todo en la No. 15.

Después de 60 días de trabajar en estas condiciones, el aparato permaneció en perfecto estado de conservación.

También se hicieron experiencias con este aparato, utilizando mosto fermentado del que se habló en el capítulo anterior, y también se obtuvieron buenos resultados, nada más con agregar al mosto pequeñas cantidades de fosfato ácido de amonio en la proporción de 0.01%.

Por el procedimiento de Orleans y de Pasteur, también se efectuaron fermentaciones, utilizando B. Pasteurianun y B. Aceti, pero con bajos rendimientos de ácido (5.3% como máximo) y después de una fermentación muy dilatada, alcanzamos a veces más de 15 días.

#### PARTE IV

### CONCENTRACION DEL ACIDO ACETICO

El vinagre que sale de los acetificadores tiene aproximadamente una concentración de 10% de ácido acético. Se bombea al tanque saturador de cal que se encuentra en la sala de concentración y ahí se le agrega la cantidad calculada de lechada de cal para neutralizar el ácido presente en el vinagre, cuya cantidad se conoce mediante una titulación con NaOH; este tanque saturador está provisto de un agitador para que la neutralización sea rápida y en seguida el acetato de calcio puede ser absorbido por el evaporador.

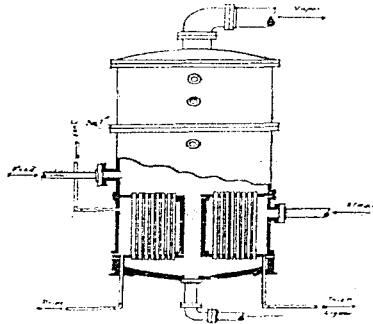


Fig. 3.—Evaporador de vacío.

El evaporado puede trabajar a la presión normal, pero para acelerar la operación y por lo tanto disminuir el costo, debe usarse un evaporador que trabaje con vacío, como por ejemplo el de la fig. 3. Del evaporador sale un acetato de calcio con 50% de humedad, el cual pasa en seguida al secador fig. 4, saliendo finalmente material con 10

a 15% de humedad que está ya en condiciones de tratarse en el destilador con ácido sulfúrico y obtener de esta operación ácido acético de 85 a 90% de pureza. Trabajando bien el secador, sin aumentar el costo puede producirse cal blanca (como se llama al acetato de calcio formado de vinagre de fermentación e hidróxido de calcio) hasta con 8% de humedad.

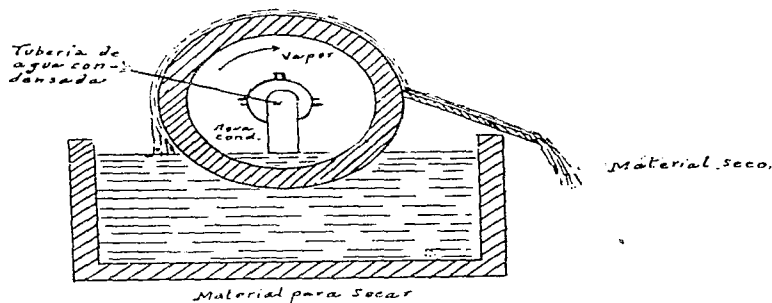


Fig. 4.—Secador

El procedimiento que se sigue en este caso para la descomposición del acetato de calcio es tratando éste con ácido sulfúrico de 66° Bé. que corresponde a 96% de pureza según se ve en la siguiente reacción:



Se deja caer el ácido sulfúrico lo más finamente dividido posible y se deja actuar sobre el acetato de calcio agitando enérgicamente.

Desde el momento de caer el ácido sulfúrico sobre la cal blanca principia a desprenderse ácido acético debido a que la reacción es muy enérgica con producción de alta temperatura. Al principio, el producto de la reacción es una masa pastosa, que se calienta tan pronto como se termina de agregar el sulfúrico para que destile el ácido formado; pero entonces la masa que al principio podía mezclarse fácilmente toma una consistencia plástica como de mástique y ofrece una resistencia considerable al movimiento del agitador. Poco a poco el residuo se vuelve seco y pulverulento, de manera que su mezcla exige menos fuerza.



Fig. 5.

La fig. 5, representa una instalación del procedimiento del ácido sulfúrico. El recipiente para la reacción es un cilindro achatado de hierro fundido; tiene un fondo plano que lo mismo que las paredes laterales se calienta con vapor de agua que circula por tubos. La cubierta de este cilindro que es también de hierro fundido, tiene un agujero de hombre para introducir el acetato, otra abertura para echar el ácido sulfúrico, otra por donde penetra el agitador mecánico y un tubo de cobre que lo une con el refrigerante. El serpentín de cobre está unido con un recipiente también de cobre o de arcilla y éste a su vez con la bomba de vacío. La cal blanca se introduce y agita mientras va cayendo poco a poco el ácido sulfúrico. Una gran parte del ácido acético producido destila gracias al calor desarrollado en la reacción. Una vez que se ha añadido todo el ácido sulfúrico se comienza a hacer el vacío y a calentar gradualmente el aparato por medio de vapor de agua de unas 8 atmósferas de presión que corresponden aproximadamente a unos 150° C. Se hace un vacío bastante avanzado con objeto de abatir la temperatura de ebullición del ácido acético hasta unos 60 ó 70° C. Como la diferencia de temperaturas es muy grande, el proceso marchará muy rápido, evitándose además sobrecalentamientos locales que pueden dar lugar a descomposición del acetato con formación de acetona.

El residuo que queda está formado por sulfato de calcio, impurificado con sulfito de calcio, sulfuro de calcio, ácido sulfúrico libre y restos de acetato de calcio y carbón.

El ácido acético bruto resultante, tiene de 85 a 95% de riqueza.

Un buen procedimiento, que quizá resulte más barato que el que se aplica, para concentrar el ácido acético, es la Patente Inglesa número 308,210, del 19 de marzo de 1928 y, consiste esencialmente en poner en una solución acuosa de ácido acético un disolvente de éste, tal como  $C_2H_2Cl_2$ ,  $C_2HCl_3$ ,  $CHCl_3$ ,  $C_2H_2Cl_4$ , o ésteres como los del ácido acético, aceite de acetona o sus mezclas; después se hace bajar la temperatura a 20° C., temperatura a la cual cristaliza toda el agua, quedando como líquido residual el ácido acético en el disolvente. Se separa el hielo formado, y se lava con el mismo disolvente usado. Se juntan los dos líquidos y por destilación se separa perfectamente el ácido del disolvente.



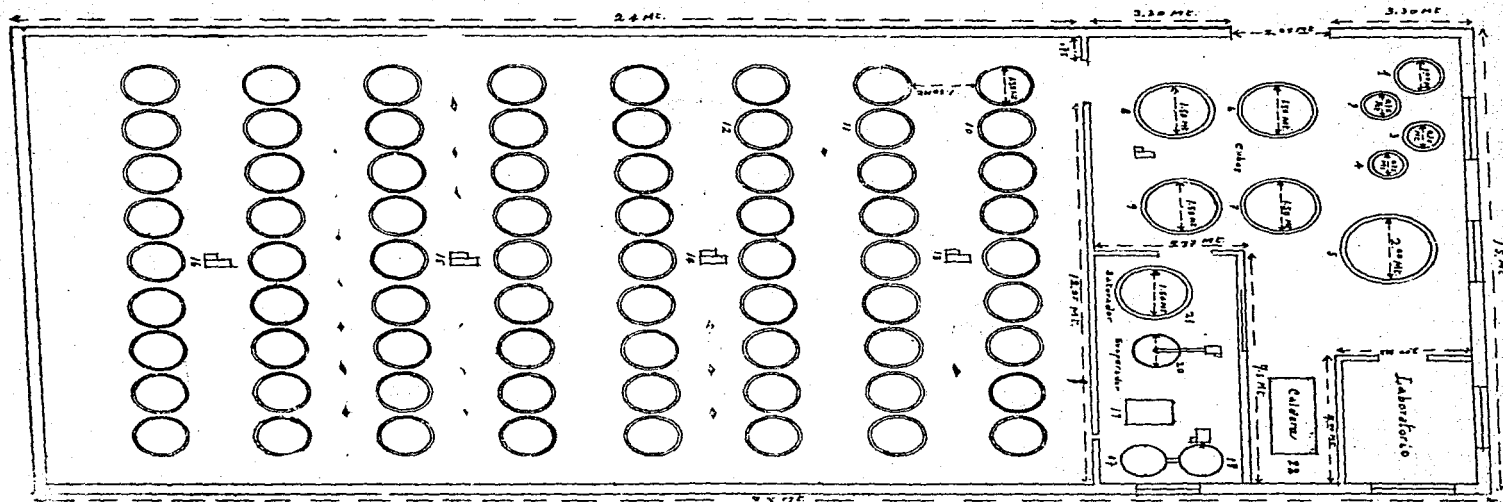


Fig. 6 — Esquema de una planta de ácido acético por fermentación  
 1 tanque de dilución; 2, 3 y 4 cubas para levadura madre; 5 tanque de almacenamiento; 6, 7, 8 y 9 cubas para la fermentación alcohólica; 10, 11 y 12' etc. acetificadores; 13, 14, 15, 16 etc. bombas; 17, tanque saturador; 18, evaporador; 19, ascador; 20, destilador; 21, condensador; 22, caldera.

## PARTE V

Teniendo en cuenta el consumo del ácido acético en México, la importación total de ácido y el precio de venta, resalta a la vista la conveniencia de establecer en nuestro país una planta productora ya que en estos momentos no existe ninguna.

El proyecto que sigue presupuesta una planta para la manufactura de 500 Kg. diarios de ácido acético, cantidad que según se ve en las estadísticas, es la que más o menos corresponde al consumo que actualmente este producto tiene en México.

El procedimiento que se sigue es el ya dicho de fermentación alcohólica de azúcar, en cubas de fermentación de lámina de hierro; fermentación acética de esta solución alcohólica en aparatos acetificadores de madera de 5 m. de alto y 1.30 m. de diámetro; formación de la sal cálcica de la solución de ácido obtenida; concentración y secado de la cal blanca y por último descomposición de la cal blanca con ácido sulfúrico y por destilación obtención del ácido acético.

**PROYECTO del presupuesto de una fábrica de ácido acético, por el procedimiento de fermentación, para producir 500 Kg. diarios de ácido bruto de 92%, utilizando como materia prima mieles incristalizables.**

### FERMENTACION ALCOHOLICA

1 Cuba de dilución de 1000 litros, de lámina, con agitador mecánico para la mezcla. . . . .	\$	150.00
3 Cubas para levadura de 500 litros, de lámina, con serpentín, refrigerante y accesorios, a \$250.00 c/u. . . . .		750.00
4 Cubas de fermentación de 5,000 litros, de lámina, a \$250.00 c/u. . . . .		1,000.00
1 Tanque de almacenamiento de 30,000 litros, de lámina. . . . .		950.00
1 Tanque para agua caliente de 500 litros, de lámina. . . . .		60.00
1 Tanque para agua de 10,000 litros, de lámina. . . . .		400.00

1 Bomba de vapor, para mieles, de 400 litros por hora, con cuerpo de bronce. . . . .	275.00
1 Bomba de vapor para mosto fermentado, de 500 litros por hora, con cuerpo de bronce. . . . .	350.00
1 Bomba para agua de 1,000 litros por hora. . . . .	350.00
Accesorios: Tubería de distribución del mosto, de agua, llaves, etc. . . . .	800.00
Suma. . . . .	\$ 5,085.00

**FERMENTACION ACETICA**

72 Acetificadores completos de 5 m. de alto, a \$140.00 c/u. . . . .	\$ 10,080.00
5 Bombas de 50 litros por hora, de hierro, para hacer circular el vinagre, a \$100.00 c/u. . . . .	500.00
1 Bomba de 625 litros por hora para llevar el vinagre a la sala de concentración. . . . .	430.00
Tubería y llaves de 1" de hierro. . . . .	1,500.00
Suma. . . . .	\$ 12,510.00

**CONCENTRACION DEL ACIDO**

1 Evaporador de vacío, usado, con bomba y accesorios. . . . .	\$ 2,000.00
1 Secador de tumber giratorio. . . . .	3,000.00
1 Destilador de hierro, con agitador mecánico, de vacío. . . . .	10,000.00
Accesorios del destilador: Condensador, tanque de recepción, bomba de vacío, etc. . . . .	1,000.00
1 Caldera de 50 HP, horizontal, con accesorios. . . . .	1,800.00
1 Motor de vapor de 20 HP, con flecha para transmisión, bandas, etc. . . . .	1,500.00
1 Tanque saturador de acetato de calcio de 5,000 litros de lámina, con agitador mecánico. . . . .	300.00
Conexiones, tubería de vapor, etc. . . . .	1,000.00
Suma. . . . .	\$ 20,600.00

**Resumen**

Fermentación alcohólica. . . . .	\$ 5,085.00
Fermentación acética. . . . .	12,510.00
Concentración del ácido. . . . .	20,600.00

Costo de la maquinaria. . . . . \$ 38,195.00

Gastos de transporte de la maquinaria calculados al 6% del costo . . . . .	\$ 2,292.00
Costo total de la maquinaria . . . . .	\$ 40,487.00
Gastos de instalación calculados al 10% del costo . . . . .	\$ 4,049.00
Edificio . . . . .	12,000.00
1 Camión . . . . .	3,000.00
Material para el Laboratorio . . . . .	1,000.00
Muebles para la Oficina . . . . .	1,200.00
Gran total . . . . .	\$ 61,736.00

## EGRESOS DIARIOS

1580 Kg. de miel de 55% de azúcares fermentecibles a \$11.00 Ton. . . . .	\$ 17.38
403 Kg. de Acido Sulfúrico de 96% a \$0.14 Kg. . . . .	56.40
290 Kg. de cal a \$0.04 el Kg. . . . .	11.60
2.5 Kg. de sulfato de amonio a \$0.30 Kg. . . . .	0.75
0.5 Kg. de fosfato ácido de amonio a \$3.80 Kg. . . . .	1.90
185.5 litros de petróleo crudo a \$0.0314 el litro. . . . .	5.73
Materias primas y combustible . . . . .	\$ 93.76

## Personal

1 Gerente . . . . .	\$ 20.00
1 Químico jefe de fabricación. (Superintendente) . . . . .	18.00
1 Mecánico destilador, jefe de peones . . . . .	5.00
1 Fogonero . . . . .	3.00
1 Chauffeur . . . . .	3.00
1 Almacenista . . . . .	4.00
1 Portero . . . . .	2.00
8 Obreros a \$2.00 diarios c/u. . . . .	16.00
1 Contador . . . . .	7.00
1 Cajero . . . . .	6.00
1 Secretario . . . . .	4.00
2 Facturistas a \$2.50 c/u. . . . .	5.00
1 Office Boy . . . . .	1.50
	\$ 94.50

	Materias primas y combustible.....	\$ 93.75
	Personal.....	94.50
	Envases (3 tanques a \$5.00 c/u.).....	15.00
	Imprevistos.....	8.00
	Impuestos, calculados al 6% anual sobre el capital invertido.....	10.15
	Amortización en 15 años.....	11.26
	Interés al 9% anual.....	15.23
	<b>Total de egresos diarios .....</b>	<b>\$ 247.90</b>

**INGRESOS DIARIOS**

500 Kg. de ácido acético de 92% a \$1.50 Kg. o 920 Kg. de 50% a \$0.81.....	\$ 750.00
<b>Total de ingresos.....</b>	<b>\$ 750.00</b>
<b>Total de egresos.....</b>	<b>247.90</b>
<b>Utilidad diaria.....</b>	<b>\$ 502.10</b>

## CONCLUSIONES

- 1.—Es costeable establecer en México una fábrica de ácido acético por el procedimiento de fermentación.
- 2.—La utilidad tan grande que se obtiene diariamente, es debido a que en estos momentos no hay competencia, pues todo el ácido se importa del extranjero y se vende al mayoreo a \$2.00 Kg. el de 97% y a \$0.90 Kg. el desnaturalizado de 50%, mientras que el producido por este procedimiento, cuesta su manufactura \$0.47 Kg. el ácido de 92%.
- 3.—Del proyecto de presupuesto se desprende que para poner a trabajar una planta, se necesita un capital de \$68,378.30, tomando en cuenta los egresos diarios que comprenden materia prima, combustible, personal, envases, imprevistos e impuestos de 30 días de trabajo sumados al costo total de maquinaria e instalación; produciendo este capital el 22% de interés mensual.

## BIBLIOGRAFIA

- Dr. Franz Lafar.—Technical Mycology.  
P. W. Allen.—Industrial Fermentations.  
A. Jorgensen.—Micro-organisms and Fermentation.  
W. Henneberg.—Handbuch der Gärungsbakteriologie.  
P. Pacottet.—Eaux-de-Vie et Vinaigres.  
Ullmann.—Enciclopedia de Química Industrial.  
Thorpe.—Enciclopedia de Química Industrial.  
Badger and Mc Cabe.—Elements of Chemical Engineering.  
Tyler.—Chemical Engineering Economics.  
Otto Lange.—Química Industrial.  
Dr. Max Delbrück.—Brennerei Lexikon.  
Ch. Simmonds.—Alcohol.  
J. W. H. Eyre.—Bacteriological Technique.  
Chemical Abstracts.  
Industrial and Engineering Chemistry.