

INVESTIGACION SOBRE LA INDUSTRIALIZACION DEL AÑIL EN EL SALVADOR

Olga Armida Esquivel

RESUMEN

El presente estudio tiene como objeto, evaluar técnica y económicamente la posibilidad de hacer del añil, planta silvestre nacional, una industria de impacto en la economía del país.

La investigación se centraliza en la identificación de la naturaleza (enzimática-microbiana) del proceso de producción del colorante índigo, y en el control de las variables que componen las diversas etapas del proceso de obtención, estableciendo las condiciones de operación que dan los mejores rendimientos; además se incluyen aspectos referentes a la comercialización, demanda y precios del colorante en forma de polvo.

Este trabajo se efectuó de la manera siguiente: primero, se realizó una investigación bibliográfica; y segundo la experimentación, cuya metodología se estructuró así, experiencias a nivel de laboratorio de la técnica artesanal, ensayos a nivel laboratorio y posteriormente piloto de las dos etapas (maceración y oxidación).

Los resultados, a la fecha, se resumen enunciando: "Que el índigo en la planta (jiquilite) está formado en las hojas y se encuentra contenido en el tejido en un glucósido, soluble en agua, indican, el cual es de color amarillo pálido. Este glucósido se transforma por acción enzimática a Indoxyl y Glucosa, la cual al oxidarse se transfiere a "índigo".

Introducción.

El **índigo**, como un polvo colorante natural, ha sido conocido desde hace muchos años por el hombre, éste es un colorante vegetal producido por varias familias de plantas **indigóferas**.

Aproximadamente, existen ciento cuarenta especies de **indigófera** y algunas de ellas tienen

importancia comercial. Hace aproximadamente cien años, con el advenimiento de la química orgánica y la síntesis de los compuestos naturales, los científicos examinaron las posibilidades de sintetizar el **índigo**. El primero en eso fue Adolf von Baeyer en 1870. Al comenzar el nuevo siglo, el **índigo** natural ha sido gradualmente reemplazado por el Indigo sintético y por ser éstos, deri-

vados de la industria petrolera, la cual proviene de un recurso no renovable, consideramos que la factibilidad de implementar tal industria sea bondadosa.

Se ha dividido esta investigación en tres etapas.

1. Investigación bibliográfica

La parte que compila todo el trabajo llevado a cabo, en el colorante índigo, comprende el estudio botánico del jiquilite, rubros de producción durante y posteriormente a la colonia, formas artesanales de ejecutar el proceso de obtención, propiedades de la molécula físicas y químicas, etc.

Cabe señalar, que la revisión bibliográfica reportó poca literatura referente al tema y técnicamente imprecisa (Rubio 1976, Choussy 1977).

De manera que se ha estructurado este acápite de la manera siguiente:

- 1.1 La planta.
- 1.2 Antecedentes consideraciones a cerca del cultivo, su producción y mercados.
- 1.3 Proceso empírico o artesanal.
- 1.4 Propiedades físico-químicas.

2. Aspectos económicos

Varias instituciones del país han considerado de una u otra manera (Banco de Fomento Agropecuario Doc. No. 104, 1979) la importancia socioeconómica de esta industrialización y así reportan los posibles mercados y precios del producto en la forma de polvo.

Estos aspectos se discuten así:

- 2.1 Mercado.
- 2.2 Demandas. Países productores. Precios.

3. Etapa experimental

Inicialización con el proceso empírico.

- 3.1 Investigar si el proceso es enzimático solamente o microbiano.
- 3.2 Efectos de tamaño de partículas (transferencia de masa).
- 3.3 Estudio de variables (pH, temperatura, agitación, etc.).
- 3.4 Estudio de la aeración, pH, temperatura, O₂ disuelto, agitación.

Introducción

1.1 La planta.

El añil es silvestre en Centroamérica y, según el botánico De Candolle (BFA. No. 104) las especies de **indigóferas**, introducidas por los españoles, se cruzaron con las especies nativas, formando muchas variedades que ascienden a más de 140.

Las especies del país se clasifican así:

División:	Antofitas
Sub-División:	Dicotiledóneas
Clase:	Arquiclamideas
Familia:	Leguminosa
Sub-Familia:	Papilionáceas (Galageas)
Género:	Indigófera
Especies:	I. guatemalensis, I. suffruticosa.

Los caracteres generales botánicos son receptáculo muy corto; cáliz gamosépalo de lóbulos casi iguales, pétalos sentados; alas de la corola papilionáceas, pétalos asentados al androceo, cadena erecta, obtusa, acuminada, provista de un casco saliente; diez estambres diadelfos; anteras uniformes, velludas; ovarios sentados con muchos óvulos estilo glabro; estigma captado en forma de pincel. El fruto es una vainita cilíndrica, tetragona, un poco comprimida y ya seca, un poco arqueada, con 5 a 7 semillitas oscuras, ovoideas. Las flores están en racimos rojoclaros. El tallo en pleno desarrollo se eleva a la altura del hombre, es ramificado, pubiscente, de hojas pequeñas, imparipinnadas.

El **indigófera guatemalensis** se caracteriza por sus vainas cortas y rectas y el **indigófera suffruticosa** llamado "jiquilite" sus vainas son largas y encorvadas.

1.1.2. Cultivo

El añil es planta perenne propia de las zonas tropicales y subtropicales. Los terrenos más apropiados para su cultivo son los pedregosos y areniscos. La demasiada fertilidad y sobre todo la sombra, disminuye el rendimiento (colorante) de la planta.

Generalmente no se usa arar: las semillas se riegan a mano, en terreno seco, poco antes de iniciarse la época lluviosa. La semilla germina poco tiempo después de caer las primeras lluvias.

También solía sembrarse el añil en terreno arado y practicando la siembra en pequeños hoyos de una a dos pulgadas de profundidad, en surcos distantes una vara y a catorce pulgadas entre el surco.

Como se mencionó anteriormente, el añil es planta de la familia de las leguminosas, y por tal razón enriquecía en **nitrógeno** el suelo donde se cultivaba y a ello se debía, en parte, el que las cosechas de maíz en las haciendas dedicadas a esta rama de la producción fueran siempre abundantes.

Técnica de cultivo. El sistema de siembra utilizado consistía en el asocio de maíz, maicillo y añil.

El maíz se sembraba en mayo; al realizar la dobla en agosto, se volcaba la semilla de maicillo y la de añil e inmediatamente se procedía a hacer una limpia (chapia). Después de cosechar el maíz y el maicillo, quedaba el añil como un monocultivo.

No hay reportes que indiquen plagas o enfermedades observadas en el añil.

1.1.3.Cosecha

La cosecha de la siembra (llamada corte) se lleva a cabo cuando la planta ha alcanzado su máximo desarrollo, que es cuando comienza la inflorescencia. Aproximadamente dos años después de sembrado el arbusto. La cosecha, se inicia dependiendo del régimen de lluvias entre julio y agosto, prolongándose hasta el 15 de octubre más o menos, suspendiéndose al inicio de los vientos, por disminuir los rendimientos del añil en las pilas de extracción.

La unidad de "corte" es el **manejo**, cuyo peso varía de 50 a 60 libras: cuatro manojos forman una "carga".

La "carga" presenta un peso de jiquilite del orden de 2 a 2 quintales.

El rendimiento en "tinta" o añil se calcula por "unidades de carga".

Superficie y rendimiento

Al presente, solo se cosecha en los municipios de Nombre de Jesús, San Antonio de la Cruz y Arcatao en el departamento de Chalatenango y en el de Santa Ana.

Se estima que en la zona cultivada y productora de añil en el departamento de Chalatenango, se siembran 85 hectáreas (120 manzanas), teniendo un volumen de producción de 14.3 toneladas

de hierba fresca por hectárea, con un rendimiento de índigo natural de 65.1 Kg/Ha (100 lbs./manzanas BFA. Doc. 104).

1.2.Antecedentes

Aquí se harán las consideraciones acerca del cultivo, montos de producción de colorantes y mercados, desde la época de la colonia, hasta los últimos años (1950), así como se presentarán las áreas existentes actualmente en el país, donde se explota en mínimo grado.

Mucho se ha escrito y discutido para establecer si el añil habrá sido llevado de las Indias Orientales a América o si el género **indigófera** existía en la flora de este continente.

La historia de El Salvador señala como inicio del cultivo de añil hacia 1575.

Los primeros conquistadores de América relatan que los indígenas se teñían el cuerpo y las telas de su indumentaria con un colorante azul, parecido al índigo que ya era conocido en Europa, pero sin hacer referencia de cuáles plantas extraían este colorante.

En lo referente a Centroamérica después de la conquista, los españoles detectaron que las razas nativas extraían un colorante vegetal por métodos arcaicos de especies autóctonas del género **indigófera** y ante la posibilidad de su cultivo a escala comercial, introdujeron especies asiáticas de mayor rendimiento y métodos de extracción que proporcionaron mayores volúmenes de producción.

Durante la Colonia, el colorante producido era comercializado de acuerdo a disposiciones emanadas directamente de España y ésta a su vez, servía de intermediario entre los diversos países consumidores de Europa.

Los primeros envíos a Europa de índigo producido en América, provenían de México, Guatemala y República Dominicana. Es necesario señalar que durante la época de la colonia, El Salvador pertenecía a la Capitanía General de Guatemala.

La acogida dada a este tinte americano en Europa fue notoria, pues el añil era un colorante muy superior al "pastel", (**isatis tinctoria**) y aún a los colorantes provenientes de Asia.

Manuscritos de esa época reportan que a mediados del siglo XVIII la producción de El Salvador era de 400,000 libras de tinte a un precio de 6 reales/libra. Y la producción para los años de 1791 a 1800 fue:

AÑO	LIBRAS DE TINTA (Rubio, 1976)
1791	1,015,200
1792	1,139,250
1793	1,149,800
1794	789,950
1795	852,100
1796	865,100
1797	763,425
1798	749,775
1799	625,612
1800	802,350

En el siglo XIX El Salvador incrementó el cultivo de caña de azúcar, tabaco y algodón, pero no desplazando, ni sustituyendo el cultivo del añil. Así vemos las siguientes producciones para dicho siglo:

AÑO	LIBRAS DE TINTA AÑIL (Rubio, 1976)
1803	258,708
1809	732,570
1810	740,820
1811	536,475
1812	450,425
1813	257,300
1814	422,507
1815	412,781
1816	376,800
1817	332,200
1818	332,200

Del año 1819 a 1823 no existe reporte alguno sobre el cultivo. Y en el año de 1825 la cosecha de añil fue equivalente a 2,000,000 de pesos.

Después de la independencia, los países centroamericanos y en especial El Salvador, que tenía mayor volumen de producción, penetraron directamente con el añil los mercados tradicionales de consumo (europeos), usando los mismos canales de comercialización establecidos en el tiempo de la colonia.

En el año de 1856, Gerardo Barrios introdujo el cultivo del café, pero debe recalcar que el café no era un "cultivo de sustitución" del añil, toda vez que las exigencias de ambas industrias en cuanto a condiciones de suelo y de clima son

opuestas; el café es cultivo de las zonas altas o medias, mientras que el añil se cultivaba en la zona baja, internándose en las planicies de las cuencas de los ríos, y en especial a lo largo del valle del Lempa.

Seguidamente el café fue desplazando al añil en el acervo de las exportaciones, tanto que en 1879 sobre un total de exportaciones de ₡4,122,888.05 ya el 45.5% eran de café, mientras que el porcentaje de añil fue tan solo, en ese mismo año del 34%.

Siguiendo el orden cronológico de acontecimientos, se observa, que en el último cuarto del siglo pasado, el comercio mundial de este producto fue fuertemente deteriorado por la producción industrial de colorantes sintéticos, lo cual originó una disminución en la producción del índigo natural.

Cabe mencionar, que con motivo de las guerras mundiales, el comercio internacional del añil vuelve nuevamente a tener importancia económica, pero no alcanza los niveles de comercialización anteriores a la época de la crisis, así en 1917, se exportaron a Estados Unidos de América y al Perú, unos 2,5000 quintales de tinte.

Prácticamente, la industria añilera salvadoreña ha quedado reducida a algunas actividades en esta rama en los departamentos de Cabañas y de Chalatenango.

Los porcentajes respectivos de producción de añil de dichos departamentos son:

Departamento de Cabañas	19.14%
Departamento de Chalatenango	80.86%

Podemos señalar la decadencia de esta industria viendo los obrajes activos, así en 1977, Choussy reportaba:

	No. de obraj Activo	Inactivo	Totales
Departamento de Cabañas	5	2	7
Departamento de Chalatenango	50	46	96
	55	48	103

Y a la fecha de esta publicación, 1982, los obrajes activos, fueron prácticamente eliminados, por ser considerada esta zona conflictiva.

Los montos de la producción de estos dos departamentos, y los precios por Kg. de este tinte, en los últimos años de su explotación, de 1939 a 1948, (Choussy, 1977), se dan a continuación:

Año	Peso en kilogramos	Valor en Colones	Precio promedio
1939	19,130	46,871.00	¢ 2.45 Kg.
1940	16,749	79,967.00	¢ 3.02 Kg.
1941	45,003	142,524.00	¢ 3.16 Kg.
1942	40,358	124,900.00	¢ 3.09 Kg.
1943	75,153	240,701.00	¢ 3.20 Kg.
1944	36,697	96,793.00	¢ 2,63 Kg.
1945	51,140	137,766.00	¢ 2.69 Kg.
1946	49,662	149,111.00	¢ 3.00 Kg.
1947	33,954	97,249.00	¢ 2.86 Kg.
1948	34,451	113,424.00	¢ 3.29 Kg.

El siguiente cuadro, muestra por país de destino y en orden descendente los países a los cuales se exportaba añil en el periodo 1939-1948 (Choussy, 1976).

Guatemala	49.45%
Perú	37.77%
Ecuador	5.149
Bolivia	3.18%
Gran Bretaña	1.47%
Estados Unidos	1.41%
México	0.68%
Argentina	0.43%
Chile	0.20%
Venezuela	0.18%
Nicaragua	0.07%
Honduras	0.02%
TOTAL	100.00%

Actualmente se cultiva añil en los municipios de Nombre de Jesús, San Antonio de la Cruz y Arcatao, en el departamento de Chalatenango, en suelos cuyas condiciones ecológicas son las adecuadas al cultivo y con una tecnología tradicional.

La forma de explotación existente consiste en unidades familiares localizadas en minifundios, entre 2 a 3 hectáreas (de 3 a 5 manzanas).

En vista de que el cultivo de añil entró en decadencia debido a la aparición de los colorantes sintéticos, la investigación ha permanecido estática en nuestro país, prevaleciendo el proceso empírico, sin ninguna modificación.

Hasta el momento, en cuanto al cultivo del añil ninguna institución pública está dando asistencia técnica. Las instituciones financieras,

públicas y privadas, no se han interesado en fomentar el desarrollo de dicho cultivo, aunque la han considerado alguna vez de importancia al desarrollo socioeconómico del país.

1.3. Proceso empírico o artesanal

Epoca colonial

El jiquilite se cortaba desde la mañana hasta las 12 ó 3 de la tarde, suspendiéndose la operación a esa hora, porque la "tarea" incluía el transporte de los manojos cerca de la pila u "obraje", sin que se tomaran mayores cuidados para impedir la acción del sol que quema y marchita las hojas.

La extracción del añil se llevaba a cabo en instalaciones llamadas **obrajes**.

La parte esencial de un "obraje" la constituían las pilas. La profundidad de éstas solía variar y por lo general era de 1½ vara (aprox. 1.25 mts.).

Estos obrajes eran contruidos de piedra, cal y arena o cemento. Para tratar 50 "cargas" de jiquilite, o sea alrededor de 125 quintales, se necesitaba una pila de 6 varas de largo, por 5 de ancho (aprox. 5x4 mts.). La primera operación lleva el nombre de **empilo**, y éste comenzaba en los obrajes a las 3 de la tarde con las cargas cortadas el mismo día. El jiquilite se depositaba en capas de manojos sobrepuestas. El agua se echaba a las pilas entre las 4 y 6 de la tarde, según durara el empilo. Empezaba entonces la "maceración". La maceración duraba toda la noche y se daba por terminada entre las 6 y 9 a.m. del día siguiente, o sea que requería esta operación entre 12 a 17 horas. El encargado de señalar el momento en que la operación del remojo debía darse por terminado llevaba el nombre de "puntero", que

con mucha práctica acababa, a través de observaciones empíricas, por tener conocimiento del momento en que convenía vaciar la pila —o según expresión vernácula— el momento de “soltar el remojo”.

Es por el aspecto del “agua de remojo” que se guía el puntero para determinar el momento de proceder a otra operación. En efecto, el líquido presenta entonces una coloración verde, al mismo tiempo que dicha capa superficial toma un tinte tornasol.

Existen otros muchos indicios sobre los cuales se basaban los “punteros” para determinar el momento oportuno de “soltar” el agua de remojo; algunos necesitaban de la prueba del “palo” (Rubio, 1976) y algunos se guiaban únicamente por el color de la capa superficial del líquido; otros por los olores fétidos que se desprendían de la pila, que cambiaban según el grado de maceración; otros también probaban el líquido, cuya apariencia jabonosa y sabor picante eran factores de apreciación cuya interpretación dependía de la habilidad del “puntero”, lo esencial era determinar el momento preciso en que la pila debía vaciarse; el soltar el remojo antes que éste diera su “punto” reducía el rendimiento y de prolongarse demasiado, el añil obtenido era de color negro de muy escaso valor.

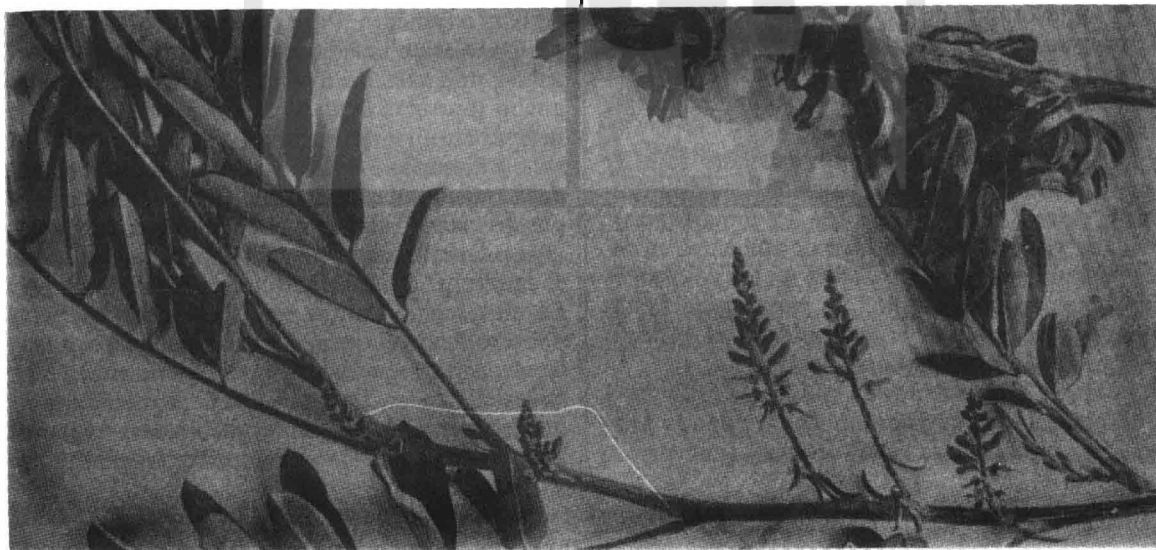
La solución en el fondo de la pila era de color amarillo, pero los elementos que estaban en solución en la capa superficial se oxidaban al contacto del aire, tomando entonces un tinte entre azul y amarillo, pero todavía bastante claro. Cuando el “puntero” juzgaba que la operación de la maceración debía darse por terminada hacía “soltar el remojo”, es decir hacía pasar el líquido de la “pila de remojo” a la “pila de batir”.

En la pila donde se ha vaciado o “soldado” el remojo, se procedía entonces a la batición del líquido. Esta operación se hacía a mano o por medio de “ruedas de batir”. En el primer caso, 10 a 12 hombres que manejando largas paletas agitaban violentamente el líquido, en movimiento acompasado; en el segundo caso, la misma operación se llevaba a cabo con una rueda que era movida por un malacate o de ser posible por una instalación hidráulica. El objeto de la “batición” era provocar la oxidación de la masa.

En efecto, la materia colorante no adquiría el color azul que caracterizaba el añil y no se volvía insoluble depositándose en el fondo de la pila, sino después de haberse oxidado. El “punto de batición” era tan importante como el de la maceración y debía ser apreciado con mucha exactitud para suspenderse en el momento oportuno, toda vez que de prolongarse daría un producto de grano grueso y duro de mala calidad. Para apreciar el grado de batición, el “puntero” ponía en un vaso cierta cantidad de licor batido y agregaba un volumen igual de agua clara.

Si se formaba en la circunferencia del vaso una línea color “verde azulado”, ello indicaba que el licor no estaba suficientemente batido; si el anillo es de color moreno uniforme, se daba por terminada la operación. Algunos “punteros” preferían dejar la solución en reposo en un vaso y juzgar de los progresos de la batición por el examen del precipitado que se formaba en el fondo del vaso y por el color del líquido que debía ser parecido al de ron añejo.

La operación de la “batición” duraba de 2 a 3 horas, después de las cuales el líquido quedaba en reposo para que la materia colorante se precipitaba.



Antiguamente, la sedimentación se favorecía por medio del jugo de varias plantas (Rubio, 1976); la más comúnmente empleada en los "obrajes" de El Salvador, era el cuajatinta, *cordiacana martens* y *galeottii*, arbusto de la familia de las *borraginaceas*, pero también solía emplearse el jugo de *tihuilote-cordialba* (*Jacquin*) y el jugo de *platanillo*, planta del género *bihai*, familia de las *musáceas*.

El agua de cal es también un verdadero agente de precipitación para el añil, pero precipita o provoca la sedimentación de muchas impurezas y por ello daña la calidad del producto.

Con el empleo de "ruedas batidoras" no es necesario hacer uso de estos agentes de precipitación para obtener una sedimentación óptima del colorante. El tinte precipitado forma en el fondo de la pila una capa muy delgada, se destapan unos agujeros practicados en la pared a varias alturas para dar salida a las lejías.

Las lejías de punto bajo (menos de doce horas) salen alazanas de color de vino jerez, las de punto alto, verde-limón. Un punto alto, según los añileros, daba una tinta negra y lejías oscuras de punto bajo daban poca tinta, pero se ganaba en la calidad y viceversa con el punto alto. Toda la pericia del puntero se reducía a observar como salían las lejías el primer día de la temporada para los siguientes a fin de establecer el punto con más o menos firmeza.

La tinta después de extraída de la pila de batir se depositaba en una pileta en donde se asentaba y al día siguiente se cocía; se echaban la tinta y la lejía a calentar, se hacía hervir el tiempo suficiente y al estar cocida se colocaba en filtros para escurrir el agua.

Después de terminado el cocimiento, el añil se secaba al sol y se prensaba en sacos de cuero o "zurrónes" de mayor o menor tamaño según los "obrajes" y así empacado llegaba a los mercados.

Proceso actual

En la zona añilera del país existe una infraestructura artesanal suficiente en forma de "obrajes" a nivel familiar, muchos de los cuales, debido a su abandono se encuentran deteriorados.

En los pocos "obrajes" activos el proceso de extracción sigue siendo el mismo, sin ninguna modificación, como se señaló anteriormente, la decadencia de este cultivo fue debido a la aparición de los colorantes sintéticos, por lo que toda

investigación sobre el añil no pareció importante y no se realizó. La forma de explotación existente, consiste en unidades familiares localizadas en minifundios, entre 2 a 3.5 hectáreas (de 3 a 5 manzanas).

Cabe señalar, que en la época de la colonia y aún en la actualidad, el índigo de El Salvador solía clasificarse como sigue:

- i) "Añil flor". Producto de color azul muy vivo, pasta uniforme, blanda, poco pesada que absorbe fácilmente el agua.
- ii) "Sobresaliente". Difiere del anterior en ser menos ligero de pasta más firme, de un azul menos brillante y con reflejos violetas.
- iii) "Corte". Este añil es de reflejos rojo cobrizo, pasta pesada y dura, lo que hace que al quebrarse los cortes son de aristas cortantes. Esta calidad ofrece resistencia cuando se pretende aplastarla entre los dedos.

1.4. Propiedades físico-químicas del colorante índigo natural

Fórmula: $C_{16}H_{10}O_2N_2$

Nombre: trans-2:2' - di- ψ - indoxyl, di-indogeno.

Estructura de la molécula:

Peso molecular: 262

Punto de fusión: de 390 a 392°C.

Insoluble en agua, alcohol y éter de petróleo.

Soluble en ácido sulfúrico caliente, cloroformo, nitrobenzono, fenel, benceno, anilina, etc.

El proceso de extracción del índigo de la planta añil o jiquilite es el siguiente: el indican, que es un glucósido del indoxyl se extrae por acción enzimática en el tejido de las hojas y solubilizado, se oxida a indigotina:

Las propiedades y estructuras de las moléculas presentes son:

Indican

Nombre: glucósido β indoxyl

Fórmula: $C_{14}H_{17}O_6N$

Estructura molecular:

Peso molecular: 295

$O.C_6H_{11}O_5$

Indigo blanco:

Nombre: Leuco-indigo, 2:2' de-indoxyl
Fórmula: $C_{16}H_{12}O_2N_2$
Estructura molecular
Peso molecular: 264
Soluble en alcohol etílico, Eter O

Determinación de la pureza del colorante natural

La escala de pureza determina el "contenido de indigotina" que es la sustancia activa que valora el producto de 45% a 50%. Además, de la indigotina se encuentra el colorante llamado **índigo purpurina** que no tiene importancia económica para la rama textil, valorando del 2% al 15% de contenido de dicha sustancia colorante.

Cabe mencionar que además de los colorantes llamados indigotina e indigopurpurina se encuentran presentes otras sustancias, algunas de apariencia pectinosas; según el método de separación del licor y el indino precipitado es fácil o no la eliminación de las sustancias extrañas.

2. Aspectos económicos

2.1. Mercado

A. Principales usos

El añil, se usa como colorante de fibras textiles vegetales, en algodón, específicamente. En los Estados Unidos de Norteamérica se ha iniciado su uso como colorante para la toma de placas de Rayos X. Por otra parte, se están desarrollando nuevas técnicas de procesamiento para utilizar el añil como tinte industrial, especialmente en la fabricación de lona "denim" utilizada para la confección de ropa tipo "jeans". Siendo el índigo obtenido del añil un color considerado como primario, perfectamente puede ser empleado en mezclas con otros a fin de obtener variedades de colores.

Los colores obtenidos con el índigo del añil varían del azul intenso al celeste según el grado de concentración. Asimismo, es posible obtener el color blanco brillante con ciertos matices azulados al combinar el añil con ciertos componentes químicos.

Como sustituto de los colorantes químicos, el índigo proveniente del añil tiene gran acepta-

ción como colorante de medicamentos y productos alimenticios.

Concluyendo, puede afirmarse que el añil, en sus diversas formas y calidades, tiene diversos usos, entre los cuales pueden mencionarse principalmente como colorante en la artesanía e industria textiles finalmente, como colorante de alimentos y en la preparación de algunos productos en farmacología, cosmetología, pinturas y otros.

B. Productos sustitutos

El sustituto directo del añil lo constituye el índigo artificial, dentro del cual pueden mencionarse los siguientes tipos: colorantes sulfurosos-tina, naftánicos y colorantes azoicos.

Los países considerados como mayores productores de colorantes sintéticos son Japón, Inglaterra, Estados Unidos de Norteamérica y Alemania Occidental.

2.2. Demanda

Puede afirmarse que el añil últimamente ha vuelto a tener importancia económica en la industria textil debido al incremento en el precio experimentado por su sustituto el índigo sintético como derivado del petróleo. Se conoce del interés de algunas plantas textiles latinoamericanas, (BFA, Doc. 104) para este producto.

A. Demanda nacional

Actualmente en el país, la estimación del mercado para la producción de añil se basa en la demanda del índigo sintético que importan las plantas textiles en El Salvador, el cual, debido al alza del precio del sintético registrada en los últimos años por conveniencia de costos tendrán que cambiarse del sintético al añil natural, ya que el precio de éste último es considerablemente más bajo que el primero.

No se cuenta actualmente con una demanda real de añil, ya que todas las plantas que podrían usarlo están utilizando el índigo sintético, tanto en la rama textilera como en las otras ramas industriales, entre ellas los medicamentos, cosmetología y alimentos, donde el añil perfectamente puede sustituir al colorante sintético.

B. Importaciones

El Salvador no registra movimientos de importación de colorantes sintéticos comprendidos en la partida NAUCA número 531-01-02, que dice textualmente: "Otros tintes o materiales colorantes derivados del alquitrán de hulla y tintes artificiales para colorear no preparados para uso doméstico". Esta partida global comprende los tintes o colorantes de alizarina, auramina, azina, azul de metileno, azules de azufre, colorantes de mono-azo, colorantes de pli-azo eosina, eurodinas fluoresceína, ftalocianina, fushisina, galocianina, indigosol, indofenal, indulina, lacas artificiales para colorear, lacas de carmín de cochinilla, lacas de palo de campeche, lacas de palo del Brasil, lacas de xantoxilo, lacas naturales para colorear (fijados artificialmente a una base), materias colorantes orgánicas, artificiales y sintéticas, nigrocina, oxocina, pironina y rodamina.

Considerando la gran gama de productos que comprende la partida y que además, lo difícil que sería su separación, se presenta a continuación el Cuadro No. 1, representativo del comportamiento del movimiento en las importaciones durante el período 1970-1971.

Al comparar los años 1970 y 1973, la cantidad en kilogramos disminuye en términos absolutos en 1905, el valor en colones aumenta en 1,739,504 y el precio promedio se incrementa en 5.44 equivalente aproximadamente en 64%.

Segundo: A partir de finales del año 1973, se observa el aumento en el precio del petróleo y para efectos de análisis valadero se incorpora al mismo el período 1973 - 1977.

Durante el período antes mencionado se aprecia que la cantidad en kilogramos importada de 33,873 en 1973 disminuye a 297,637 en 1977, o sea, en términos absolutos de 36,236 kilogramos. El valor en colones, por el contrario, pasa de 4,654,712 en 1973 a 5,956,960 en 1977, o sea, un aumento absoluto de 1,302,248 colones. El precio promedio por kilogramo en el mismo período de análisis se eleva de 13.94 en 1973 a 20.01 en 1977.

De todo lo anterior se deduce, que a partir de la elevación en el precio del petróleo a finales de 1973, las importaciones en kilogramos tienden a disminuir y por el contrario, el valor en colones de los mismos se eleva considerablemente y por ende el precio promedio por kilogramo.

Cuadro No. 1
Importaciones de tintes o materias colorantes derivados de alquitrán de hulla y tintes artificiales

Año	Cantidad en kilogramos	Valor en colones	Precio promedio kilogramo ¢
1970	342,978	2,915,208	8.50
1971	268,993	2,985,613	11.10
1972	244,550	2,930,713	11.98
1973	333,873	4,654,712	13.94
1974	381,138	6,402,917	16.80
1975	173,325	3,699,083	21.34
1976	216,289	4,340,603	20.07
1977	297,637	5,956,960	20.01

Fuente: Dirección General de Estadística y Censos. Partida NAUCA 531-01-02.

De las cifras del cuadro se deducen las siguientes apreciaciones importantes:

Primero: Durante el período 1970-1973, se observan fluctuaciones en la cantidad en kilogramos y valor en colones, siguiendo el precio promedio en colones una tendencia ascendente.

En lo que respecta a las importaciones que incorpora la partida NAUCA número 531-01-01 que literalmente dice: "Índigo o añil natural o artificial de cualquier forma no preparada para uso doméstico". Esta partida comprende las importaciones solamente de índigo natural e índigo sintético.

Para una fácil apreciación del movimiento de las importaciones de esta partida, se presenta el cuadro siguiente:

Cuadro No. 2
Importaciones de índigo o añil natural o artificial en cualquier forma no preparada para uso doméstico

Año	Cantidad de kilogramos	Valor en colones	Precio promedio por kilogramo ₡
1970	—	—	—
1971	283	7,608	26.88
1972	465	11,598	24.94
1973	8	504	63.00
1974	16,438	187,783	11.42
1975	3,796	47,570	12.53
1976	21,136	614,008	29.05

Fuente: Dirección General de Estadística y Censos Partida NAUCA 531-01-01.

Del Cuadro No. 2 se aprecia que durante el período 1970-1973 el movimiento de las importaciones es bastante reducido en volumen, siendo los precios promedios por kilogramo bastante elevados.

A partir de la elevación en el precio del petróleo a finales del año 1973, se aprecia que durante el período 1974-1977 la cantidad importada aumentó considerablemente en comparación con los años anteriores; asimismo, el valor en colones y el precio promedio por kilogramo sufren aumentos dignos de consideración.

C. Países proveedores

Los principales países proveedores de colorantes sintéticos son Alemania Occidental, Estados Unidos de América, Japón y Holanda (Ver. Cuadro No. 3).

Es importante señalar que los países incorporados en el Cuadro No. 3, no producen colorantes de origen natural, sino únicamente sintéticos como derivados del petróleo, con excepción de los países en vías de desarrollo que constituyen meramente re-exportaciones.

Cuadro No. 3
Importaciones de otros tintes o materias colorantes derivados del alquitrán de hulla y tintes artificiales para colorear, no preparados para uso doméstico

PAIS	KILOGRAMOS	VALOR EN COLONES
Total	297,637	5,956,960
Alemania Occidental	73,156	1,707,153
Estados Unidos	71,186	846,139
Japón	45,550	844,719
Holanda	44,890	843,200
Panamá	23,531	732,993
Bélgica Lux	11,646	307,962
México	10,646	261,260
Suiza	7,324	278,601
Italia	7,139	101,094
España	546	8,989
Gran Bretaña	118	3,545
Costa Rica	115	1,962
India	63	3,375
Guatemala	2,307	15,968

Fuente: Dirección General de Estadística y Censos Partida 531-01-02-00. Año 1977.

Del Cuadro No. 3 se detecta que las importaciones en conjunto provenientes de los países en vías de desarrollo para el año 1977, se elevan a 36,662 kilogramos con un valor en colones de 1,015,558 que representa el 12.3 y 17% para el peso y valor respectivamente.

La diferencia en términos absolutos y relativos corresponde a las importaciones procedentes de terceros países.

En lo referente a las importaciones que engloba la partida NAUCA 531-01-00 se observa en el Cuadro No. 4.

ciertos tipos de enfermedades, se han establecido programas que favorecen la producción de colorantes vegetales y otros productos afines.

Demanda centroamericana

Debido a la ausencia de datos y cifras sobre las importaciones de colorantes sintéticos del resto de países centroamericanos no se puede analizar el comportamiento de los mismos globalmente. Debido no obstante, a la estructura industrial en la región, siguen el mismo patrón ana-

Cuadro No. 4
Importaciones de índigo o añil natural o artificial en cualquier forma, no preparados para uso doméstico
Partida 531-01-01-00 (Año 1977)

PAIS	KILOGRAMOS	VALOR EN COLONES ₡
Estados Unidos	12,021	397,508
Gran Bretaña	9,115	246,500
Total	21,136	644,008

Puede observarse en este cuadro que únicamente se encuentran importaciones procedentes de Estados Unidos de Norteamérica y Gran Bretaña.

D. Localización de la demanda

Demanda nacional

Según investigaciones directas en plantas textileras nacionales que utilizan índigo, se reporta un consumo actual de 6,500 a 13,000 kilogramos de tinte anualmente, la mayor cantidad la absorbe el "denim".

Demanda internacional

En cuanto a las posibilidades que puede ofrecer el mercado internacional para el añil como colorante de fibras textiles existen demandas formales de New York y América del Sur (Instituto Salvadoreño de Comercio Exterior), de empresas textiles sumamente interesadas en la compra de añil, tal como se producía acá.

En la época actual, debido a las exigencias de la moda y a la campaña que a nivel mundial están desarrollando diversos organismos científicos internacionales que luchan contra

lizado en el país, por lo tanto, deben considerarse importadores potenciales del añil o índigo natural al sustituir el sintético.

Otro factor de mucha ventaja es que El Salvador es el único país en Centroamérica que se dedicó a esta explotación en el pasado y de allí que exista ya una tecnología propia.

3. Etapa experimental

El proceso de obtención del índigo azul se puede dividir en tres etapas, así: Extracción, Oxidación y Recuperación.

La metodología seguida en esta etapa puede caracterizarse así:

- i) Pruebas a nivel de laboratorio, siguiendo técnicas artesanales; de esta práctica, se obtuvo medida de los parámetros que conforman cada etapa. Para el caso, de interés son temperatura, pH, transferencia de masa, etc.
- ii) Pruebas a nivel de laboratorio con control de variables en la etapa de extracción y la oxidación usando técnicas artesanales, y realizando el análisis estadístico de los efectos de las variables de control sobre el rendimiento.
- iii) Prueba a nivel de laboratorio con control, sin control de variables en la etapa de extracción y controlando variables en la oxidación,

medición de rendimientos, y análisis estadístico de las variables de control sobre el rendimiento.

- iv) Pruebas a nivel laboratorio controlando ambas etapas y luego la optimización.
- v) Determinación del efecto de tamaño de partícula sobre el rendimiento y medida de las velocidades de transferencia.

Diseño experimental

El tamaño de muestra escogido (Snedecor, 1980) conforma un diseño experimental, sin réplicas, de jiquilite proveniente de tres lugares diferentes del país, llamadas muestras A, B y C. El tratamiento inicial fue igual para todas las muestras.

A nivel laboratorio se trabaja con muestras de volúmenes de 1 litro (hoja de jiquilite más agua) y se montaron experiencias con volúmenes mayores, 10 litros y 50 litros. Estos reactores de mayor capacidad se instrumentaron diseñando equipo adecuado para su funcionalidad, por ejemplo el dispositivo para la transferencia de oxígeno al líquido, materiales apropiados del equipo y reactor, manipuleos y controles precisos.

3.1. Investigación sobre el proceso, naturaleza del fenómeno

La primera etapa del proceso, la cual muchos denotan como fermentación (Rubio, 1976, Choussy 1977), es la que interesa a este estudio, es decir, identificar si es enzimático o microbiano.

El primer paso en la metodología apuntada, el cual es, la extracción y recuperación del colorante vegetal en forma de polvo, por el método convencional o artesanal, se hizo de la siguiente forma.

Primera etapa del proceso

Se puso a macerar un número determinado de muestras, todas ellas de volúmenes de 1000 ml., ésto es jiquilite y agua, durante un periodo de 14 a 17 horas, variando según la muestra (A, B y C) o la edad de la planta.

Las observaciones de esta etapa fueron:

- A. Se montaron estos experimentos a temperatura ambiente y no se notó diferencia alguna de temperatura entre la superficie y el fondo, sirviendo como parámetro de criterio para

descontinuar dicho proceso únicamente la presencia del color violeta en la superficie, el resto del líquido muestra el color verde azulado.

- B. La temperatura permaneció constante.
- C. El pH del medio se mantuvo constante durante esta etapa, e igual al del solvente (agua) usado.
- D. Los rendimientos logrados reportan que la duración de esta etapa no puede ser menor a 16 horas, según estas condiciones.
- E. No fue notorio el burbujeo descrito en la literatura revisada; es más, podemos señalar que no existe tal formación de burbujas.

Segunda etapa del proceso

En la etapa anterior el indican que ha sido extraído de la planta y transformado por acción enzimática o por fermentación a indoxyl y glucosa, debe acá ser oxidado a índigo.

La separación del licor madre por gravedad de paso inmediato a la oxidación, para las muestras de 1,000 ml., se ayudó a la oxidación con el **stirrer plate** (Corning, mod PC 353), de limitada capacidad y, para las muestras de 10 litros y 50 litros, se oxidó con alimentación directa al seno del líquido por medio de un compresor, usando dispositivos adecuados al logro de una distribución uniforme.

El proceso se detiene cuando todo el líquido ha alcanzado un color azul negro; el índigo, acá, realmente precipita pero en cantidades muy pequeñas. Es de señalar que no se catalizó esta etapa ni ayudó a la precipitación con sustancias químicas ni extratos vegetales, aunque la literatura señala el auxilio de éstas para la precipitación.

Observaciones en la etapa de oxidación.

- A. El tiempo de oxidación no puede ser menor a 1 hora. Es claro, que si la aereación es pobre, necesita más tiempo, pero en condiciones normales, éste es un buen tiempo con respecto al rendimiento y color de el grano.
- B. La temperatura permanece constante.
- C. El pH del medio permaneció constante e igual a la etapa anterior.

Tercera etapa del proceso

Luego de la oxidación del indoxyl a índigo, éste quedó parcialmente solubilizado y se optó por dejar sedimentar las muestras durante 24 horas; siguiendo la técnica artesanal, calentamos la mezcla, hasta evaporar buena cantidad de agua,

y acá, nos desviamos del método artesanal, optando por usar la técnica del filtrado al vacío, para separar el colorante del líquido.

Inmediatamente después del filtrado se procedió a secar el índigo en estufa al vacío.

Las observaciones de esta etapa fueron:

- A. El tiempo de sedimentación puede alargarse, con el cuidado de eliminar periódicamente las impurezas que se alojan en la superficie del líquido; aunque puede protegerse el recipiente, cubriéndolo con mantas transparentes (tipo gasa).

- B. El método artesanal de evaporar agua por calentamiento, sedimentar el ambiente, secar el sol por varios días y escurrir al sol, resulta del todo inapropiado, pues el colorante se contamina de polvo y otras impurezas que hacen disminuir la calidad del producto (puras) siendo difícil la separación de éstos.

Los resultados por etapa del proceso artesanal, sus parámetros y rendimiento global se presentan en el Cuadro No. 5.

Cuadro No. 5
Rendimiento y medida de parámetros del método artesanal

Muestra	Primera etapa Maceración (Duración)	Segunda etapa Maceración (Duración)	Recuperación % rendimiento (Base seca) % Pureza			
Peso = 50 gramos "A"	A ₁₁	14 horas	1	3.0%	37.8 %	
	A ₁₂	14 horas	2	3.0%	37.8 %	
	A ₂₁	15 horas	1	3.2%	37.8 %	
	A ₂₂	15 horas	2	3.2%	37.8 %	
	A ₃₁	16 horas	1	3.5%	37.8 %	
	A ₃₂	16 horas	2	3.5%	37.8 %	
	A ₄₁	17 horas	1	3.8%	37.87%	
	A ₄₂	17 horas	2	3.8%	37.8 %	
	A ₅₁	18 horas	1	3.4%	37.5 %	
	A ₅₂	18 horas	2	3.0%	37.1 %	
	"B"	B ₁₁	14 horas	1	2.0%	20 %
		B ₁₂	14 horas	2	2.2%	20 %
		B ₂₁	15 horas	1	2.2%	20 %
		B ₂₂	15 horas	2	2.2%	19.9 %
		B ₃₁	16 horas	1	2.3%	19.9 %
		B ₃₂	16 horas	2	2.3%	20 %
B ₄₁		17 horas	1	2.4%	20 %	
B ₄₂		17 horas	2	2.4%	21 %	
B ₅₁		18 horas	1	2.0%	20 %	
B ₅₂		18 horas	2	2.0%	20 %	
"C"	C ₁₁	14 horas	1	1.1%	18 %	
	C ₁₂	14 horas	2	1.1%	18 %	
	C ₂₁	15 horas	1	1.3%	18 %	
	C ₂₂	15 horas	2	1.3%	18 %	

Del cuadro anterior se observó:

- i) Los resultados experimentales iniciales no reportaban posibilidad de recortar el tiempo de la "maceración", cabe mencionar que es-

te tiempo se ve influenciado por la edad de la planta, estación del año, etc. Las muestras fueron todas las plantas en su máximo desarrollo.

- ii) De los rendimientos dados, se notó que la

duración de esta etapa no puede ser menor a 16 horas según estas condiciones.

- iii) La muestra A resultó con la más alta pureza y el mayor rendimiento.
- iv) Es de notar que todas las muestras recibieron el mismo tratamiento; así, al separar el líquido de toda la fibra de la planta, en la primera etapa, se exprimó y lavó un número de veces suficientes.

Nota: Los rendimientos se reportan como % peso/peso, en base al peso de las hojas frescas.

Entre uno de los objetivos a demostrar en este trabajo estaba el determinar la parte de la planta que contiene el indican, pues siempre se trataban los arbustos (tallos, hojas y flores) por completo, por lo que dimos paso a la experimentación, corriendo pruebas de las partes constituyentes del arbusto de jiquilite.

Los resultados fueron los del Cuadro No. 6.

3.2. Efectos de tamaño de partícula

Se realizaron experiencias modificando la superficie de contacto. Buscando mejorar la transferencia de masa (transferencia de oxígeno, hidrógeno, bióxido de carbono, etc) hacia el tejido de las hojas.

Se ejecutó el mismo diseño experimental anterior, con réplicas, y aplicando la técnica artesanal.

Los tratamientos dados a las hojas fueron:

Muestra 1. Hojas partidas a la mitad, evitando contacto con metales.

Muestra 2. Hojas maceradas parcialmente en mortero.

Muestra 3. Hojas licuadas.

Muestra 4. Hojas sin tratamiento previo.

Los resultados cualitativos se pueden reportar enumerando:

- i) La muestra 1, presentó en la primera etapa, extracción, coloración del medio igual a la

Cuadro No. 6
Representativo de extracciones en los componentes del arbusto, muestra "A"

	Hojas	Tallos	Frutos	Vainas
Maceración	El líquido cambia de color	No hay cambio de color en el líquido	No hay cambio de color del líquido	No hay cambio de color en el líquido
Oxidación	De color verde-azul pasa a azul	No hay cambio de color en el líquido	No hay cambio de color del líquido	No hay cambio de color en el líquido
	Precipita el índigo	No hay precipitación	No se produce precipitación	No se produce precipitación alguna

Del cuadro No. 6 podemos inferir: que el indican se encuentra sólo en las hojas del arbusto jiquilite. Así, el siguiente apartado de la etapa experimental trató de mejorar el rendimiento, modificando la superficie de contacto.

C. Si el tiempo de maceración es superior a 20 horas, el colorante que se obtiene es color café.

D. Si el tiempo de maceración es superior a 40 horas, el colorante cambia a color rojo.

muestra 4. El tiempo de duración de la maceración fue el mismo, de 16 horas; la oxidación duró 1 hora y el color del precipitado fue igual en ambas, azul intenso.

- ii) La muestra 2, en la etapa de la maceración presentaba el líquido de color verde más oscuro que la muestra 1, siempre duró esta etapa 16 horas; el color del precipitado fue un azul negro.

- iii) La muestra 3, en la etapa de la maceración, coloreó el líquido de un color verde negro; la

maceración duró 16 horas igual que todas, la oxidación 1 hora, pero el precipitado fue un polvo azul negro de tonos grises. Definitivamente, desde su inicio, no indicaba posibilidades de dar el color azul intenso esperado. Los rendimientos del ensayo, en base peso/peso fueron:

muestra	Rendimiento gramos de añil	Gramos de Pureza %
Muestra 1	3.5	30 %
Muestra 2	3.0	24.55%
Muestra 3	1.7	20.1 %
Muestra 4	3.7	39.0 %

Es de notar que se usó la misma cantidad (gramos) en las corridas.

Podemos enunciar acá, que con la técnica artesanal no se lograron aumentar los rendimientos, a pesar de modificar la superficie de contacto.

Es más, los colores obtenidos fueron marcadamente diferentes.

Manifestamos, además que se diseñaron experiencias en la obtención del colorante índigo, en muestras consistentes de hojas secas, y decimos en primera instancia, que con la técnica artesanal aplicada, no existió presencia alguna del índigo en el proceso. No fue posible obtenerlo de tales muestras.

Estas hojas se secaron según las alternativas:

- i) Por rayos solares, durante una semana.
- ii) Por calor artificial, secado en estufa, auxiliado de aire caliente, temperatura del aire 50°C, durante 12 horas.

En ambos ensayos, no se tuvo coloración en la primera etapa, maceración; ni precipitación de índigo alguno.

Por lo que se abandonó esta vía de posible obtención y se procedió a realizar pruebas con control de variables en la etapa de maceración y de oxidación.

3.3. Estudio de variables

Aquí se realizaron pruebas a nivel laboratorio con control de variables en la etapa de maceración y la oxidación usando el mismo método artesanal, con la variante de llevar un análisis estadístico de los efectos de las variables de

control (pH, temperatura, agitación, etc.) sobre el rendimiento de colorante.

La experimentación en este paso determinará si la naturaleza del proceso puede considerarse como microbiana o enzimática.

Antes de pasar a exponer la metodología aplicada, discutiremos las posibilidades y teoría que se tomaron en cuenta para su consideración.

Siendo las plantas organismos autótrofos, las cuales crecen y se reproducen preparando ellas mismas las sustancias complejas que necesitan a partir de simples compuestos inorgánicos, dióxido de carbono, agua y ciertos minerales, y que además estos organismos autótrofos son capaces de proporcionarse la energía necesaria por medio del sol, ya sea por fotosíntesis o por la quimio-síntesis; para el caso de interés, la hoja del jiquilite y sus composiciones, las cuales son los principios nutritivos básicos, principios secundarios que afectan el color y la formación o bio-síntesis de todos estos compuestos, quienes tienen lugar a través de una serie de procesos anabólicos capaces de crear la compleja materia orgánica a partir de sustancias menos complejas.

Ejemplo de este tipo lo constituyen la fotosíntesis (que fija la energía solar en los hidratos de carbono, formados a partir de CO₂ y H₂O); la síntesis de proteínas y la de los lípidos.

Acá, enfocamos nuestra atención a la descomposición o catabolismo de todos estos nutrientes, durante procesos tales como la digestión, respiración y fermentación.

Tenemos inicialmente presente en la célula vegetal el indican, que es como se señaló antes un glucósido, C₁₄H₁₇O₆N; éste en presencia de H₂ y de O₂ reacciona para dar indoxyl y glucosa, la identidad de esta reacción es lo que determinaremos, si es enzimática o si se trata de una fermentación.

Dos axiomas vuelven valederos los análisis.

1. La literatura (colonial) reporta un proceso de fermentación, en el que según los autores hay burbujeo (CO₂).
2. Sabemos que en las células vivas del vegetal hay enzimas, que son catalizadores coloidales orgánicos, generalmente solubles en agua, y que además son capaces de actuar en el exterior de las células.

Por las condiciones del proceso observadas en la sección 3.1., pH y temperatura constante, se puede inferir que el apareamiento del índigo sea de naturaleza enzimática.

Para comprobarlo se realizaron dos experimentos, el Experimento No. 1, el cual determina-

rá si nos encontramos ante un proceso fermentativo y el Experimento No. 2 que deberá confirmar la sospecha de la naturaleza enzimática del índigo.

Experimento No. 1

Se realizaron dos corridas experimentales en un número de muestras representativas de la población de interés, específicamente para la muestra "A", que reportó los mejores rendimientos.

En la primera corrida se distinguen dos muestras X y Y, las que se definen así:

i) X es el arbusto del añil (tallo, hojas, vainas, frutos).

ii) Y hojas de añil.

El tratamiento aplicado a ambas muestras fue:

a) Se puso a mancerar batches de 50 gramos cada uno, a las cuales se les adicionó una cantidad adecuada de substrato ($C_6H_{12}O_6$) y jugo de levadura (*saccharomyces cerevisiae*); no se creyó conveniente adicionar fosfato.

Si se piensa en una fermentación alcohólica, ésta debería de proceder aún sin la presencia de células de levaduras vivas.

La fermentación alcohólica origina numerosos subproductos tales como aceite de fusel, varios ésteres e incluso algunas sustancias amargas.

Observamos cuidadosamente esta etapa y descontinuamos hasta que el licor era azul verdoso o apareció el color violeta en la superficie. La duración fue de 17 horas.

b) Enseguida de separar la fibra del licor se procedió a oxidar durante 1 hora.

c) Se tomaron muestras del licor, previo a la oxidación, con el objeto de cuantificar la presencia o no de los productos de fermentación.

d) Se dejó sedimentar por 24 horas, enseguida se filtró y luego se dejó secar en estufa al vacío.

Resultados del experimento No. 1

Para la muestra definida como X, los resultados se describen en el Cuadro No. 7.

Cuadro No. 7
Representativo de fermentación en muestra X

Parámetro	Etapa "Fermentación"	Oxidación
pH	De 3.5 a 6.5	De 3.5 a 6.5
Temperatura	25°C	25°C
Color	Verdoso	Verde-gris
Rendimiento		
% P/P	0.8%	
% Pureza	7.0%	

Observaciones:

i) El precipitado del colorante ya seco fue de color verde-gris muy diferente al azul-índigo.

ii) Las medidas del pH se llevaron a cabo cada hora, en un medidor marca **Photovolt**, modelo 112.

iii) La temperatura en cada etapa permaneció invariable.

iv) Los análisis para la determinación de CO_2 fueron cualitativos, y en principio, reportaron ausencia de éste; se cree conveniente medir esta concentración de CO_2 en los experimentos siguientes.

v) El análisis de los productos de fermentación fue llevado a cabo en un cromatógrafo de gases **Perkin Elmer**, modelo 990, con detector de llama, las condiciones fueron:

Columna: fase líquida Carbowax 20 M al 10% soporte Cromosorb WHP 80/100.

Temperatura de la columna 50-60°C.

Temperatura del detector y de la puerta de inyección 200°C.

Flujo de nitrógeno 30 ml/min.

Flujo de hidrógeno 100 ml/min.

Flujo de aire 250-400 ml/min.

Inyección: 1 u 1.

Las respuestas del cromatógrafo reportando presencia de ésteres y aceite de fusel fueron negativos. Se usó la cromatografía de gases por ser una técnica de alta precisión y fácil reproducibilidad.

Los resultados para la muestra definida Y son presentados en el siguiente Cuadro No. 8.

Cuadro No. 8
Representativo de fermentación en muestra Y

Etapa Parámetro	"Fermentación"	Oxidación
pH	De 3.5 a 6.5	De 3.5 a 6.5
Temperatura	25°C	25°C
Color	Verde	Verde-gris
Rendimiento % P/P	0.8%	
Pureza %	8%	

Observaciones:

- i) Se observa que los rendimientos disminuyeron considerablemente (ver Sección 3.1.) los colorantes precipitados, en ningún caso el color azul esperado.
- ii) La temperatura permaneció invariable.
- iii) Las determinaciones de pH de los análisis de los productos de fermentación fueron hechos como se mencionó anteriormente.
- iv) No se detectó presencia de productos alcohólicos.
- v) Se pueden encontrar causas asignables a la variación del color del precipitado.
- vi) El parámetro temperatura delimita el proceso de extracción del colorante índigo de la planta. No omitimos manifestar la experimentación realizada, incluyendo cambios en la temperatura durante la primera etapa; las observaciones se presentan en el siguiente cuadro.

Muestra "A"

Temperatura	Observaciones	Rendimiento % P/P
50°C	El líquido dio color amarillento	0.9%
55°C	El líquido dio color amarillento	0.6%
60°C	El líquido dio color café claro	—

Se experimentó con otra alternativa que indicará la posibilidad de un proceso de origen microbiano.

La segunda corrida experimentó en plantas frescas y secas, con las diferentes muestras detalladas a continuación:

- a: hojas frescas
 - b: tallos frescos
 - c: vainas frescas
 - d: frutas frescas
 - e: arbusto fresco
 - f: hojas secas
 - g: tallos secos
 - h: vainas secas
 - i: frutos secos
 - j: arbusto seco
- cada una se trató aisladamente.

Materiales a usar en esta corrida:

Antibióticos de amplio espectro:
 tetraciclina
 nistatina y
 eritromicina;
 específicos a bacterias, hongos y levaduras respectivamente.

Dosis:

De acuerdo al volumen manejado de muestra 1000 ml. y 2000 ml. se aplicaron dosis desde 0.25 mg/ml hasta 250 mg/ml.

Metodología

A todas las muestras se les aplicó el mismo tratamiento:

- a) Se puso a mancerar, independientemente cada muestra, agregándole una dosis de antibiótico, dispersándolo uniformemente en el medio, dejándole reposar.
- b) Considerando ya terminada la etapa de maceración, separamos el material fibroso del licor y se procedió a oxidar.
- c) Se sedimentó, filtró y secó, según hecho anteriormente.

Los resultados se describen en los Cuadros Nos. 9 y 10 sondeando las muestras, las dosis aplicadas y los rendimientos evaluados (siempre base seca).

Cuadro No. 9
Representativo del rendimiento del colorante, (% P/P)
tratamiento con antibióticos-dosis 0.25 Mg/ml.

Muestra Antibiótico	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Tetraciclina	3.0%				3.0					
Nistatina	3.2%				3.1					
Eritromicina	2.9%				2,8					
Blanco	3.2%				3.0					

Observaciones:

- i) El color del precipitado fue diferente, en los tratamientos, siendo el azul del blanco igual al de la muestra tratada con tetraciclina, mejor dicho, se obtuvo el mejor color en el tratamiento con tetraciclina.
- ii) El pH de la primera etapa fue constante e igual a 6.6.
- iii) La primera etapa duró siempre 17 horas. Su temperatura fue invariable e igual a 26°C.
- iv) En la segunda etapa, oxidación, se le aireó por 1 hora, el pH fue siempre de 6.6 y la temperatura estuvo en 26°C + 1°C.
 Se realizó la experimentación con una dosis de 2.5 Mg/ml, en las mismas muestras definidas, cuyos resultados se presentan en el Cuadro No. 10.

Cuadro No. 10
Representativo del rendimiento de colorantes (% P/P),
tratamiento con antibióticos-dosis 2.5 Mg/ml.

Muestra Antibiótico	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Tetraciclina	2.7%				2.7%					
Nistatina	2.1%				2.1%					
Eritromicina	3.1%				3.2%					
Blanco	3.1%				3.2%					

Observaciones:

- i) Podríamos pensar acá que la nistatina ha inferido en el rendimiento, por lo que se optó a probar otra dosis mayor.
- ii) El pH del medio en la primera y segunda etapa para todas las muestras fue de 6.6 + 0.1; la temperatura estuvo en 26°C.
- iii) Los colores de los precipitados fueron azules, pero el color del índigo fue el esperado; así lo reportó la muestra tratada con tetraciclina.
- iv) La duración de la primera etapa fue de horas; la oxidación duró 1 hora.
 El siguiente Cuadro No. 11 muestra los resultados en muestras tratadas con dosis de 25 Mg/ml.

Cuadro No. 11
Representativo de rendimiento del colorante.
Tratamiento con antibiótico, dosis 25 Mg/ml.

Muestra Antibiótico	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Tetraciclina		3.0%				3.0%				
Nistatina		2.3%				2.3%				
Eritromicina		3.0%				3.0%				
Blanco		3.0%				3.0%				

Se observa en este cuadro que el aumento de dosis en la aplicación no perturbó significativamente el rendimiento del colorante.

Cabe señalar que todos los precipitados son de tonos azulados, pero la muestra que se trató con tetraciclina da el color mejor.

También en este paso, la temperatura y pH en la primera y segunda etapa, permanecieron igual que en los anteriores casos.

La duración de las etapas fue la misma señalada con anterioridad.

Se pudo concluir de esta segunda corrida que el indican (glucósido), responsable de la coloración azul (índigo), sólo se encuentra presente en las hojas del arbusto añil.

Podemos seguir con la otra alternativa, la experimentación para determinar un proceso enzimático, pues lo anterior dice que no es una bacteria, ni un hongo, ni levadura el causante principal del supuesto proceso fermentativo.

Se descartó el proceso fermentativo.

Rechazada esta teoría, pasamos a la contacción de tener un proceso enzimático o un fenómeno de pura respiración vegetal (enzimático de la planta).

Antes de pasar a esta sección, se mencionan las condiciones bajo las cuales se realizó la segunda etapa, la oxidación.

En muestras como las del tamaño usadas en la sección 3.3., 1000 ml. a 2000 ml. de volumen, la aereación se hizo con **Stirrer-Plate**, modelo **Corning PC-353**, y en las muestras de mayor tamaño, 10 litros y 50 litros, se experimentaron mejores resultados combinando la aereación interna (alimentación al seno del líquido, por medio de compresor) con un cierto grado de agitación.

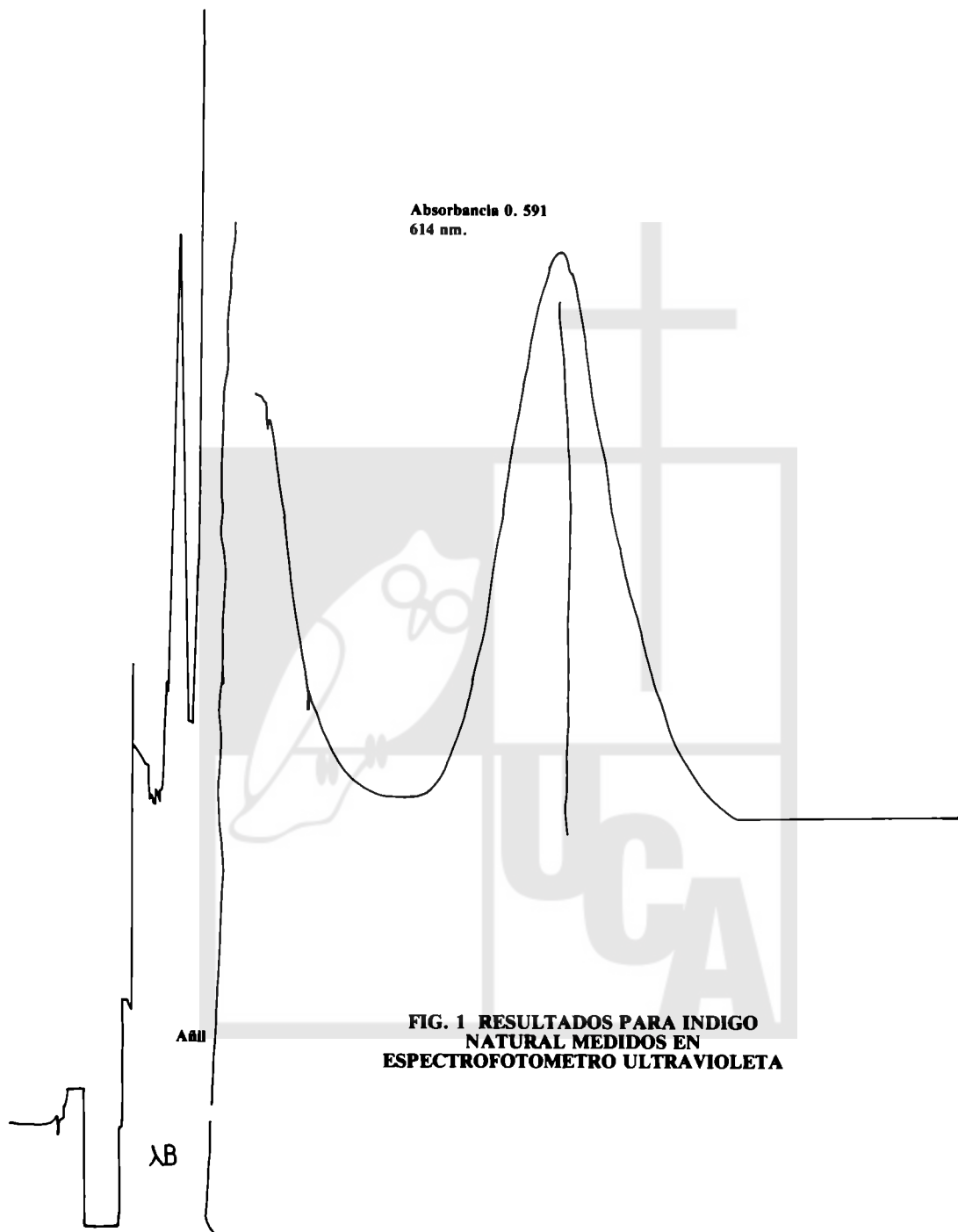
Se diseñó un dispersor de aire, hecho de PVC, y las condiciones para las pruebas fueron: Presión de salida (compresor) = 75 litros/min. Concentración de O₂ en el agua, en la ciudad de San Salvador = 7.6 PPM = 7.675 mg/ml. Coeficiente de transferencia de masa $K_{La} = 0.004 \text{ seg}^{-1}$ temperatura (líquido) = 25°C.

Las medidas de pureza del colorante se realizaron en dos instrumentos:

- i) Spectronic 20 modelo Bausch Lomb.
- ii) Spectrofotómetro de Ultra-violeta, modelo Coleman 570 determinando la mejor visibilidad del colorante índigo natural en 614 nm, para absorbancia (ver Fig. 1) y la curva de calibración, usando índigo sintético, elaborada a 450 nm, de absorbancia (Fig. 2 y Fig. 3).

Se presentan estas gráficas a continuación:

FIGURA 1



**FIG. 1 RESULTADOS PARA INDIGO
NATURAL MEDIDOS EN
ESPECTROFOTOMETRO ULTRAVIOLETA**

FIGURA 2

**CURVA DE CALIBRACION
STANDARD AÑIL SINTETICO
460 λ**

$10^{-4} []$	% Abs.
0.187	0.15
0.374	0.33
0.561	0.49
0.748	0.65
0.935	0.80

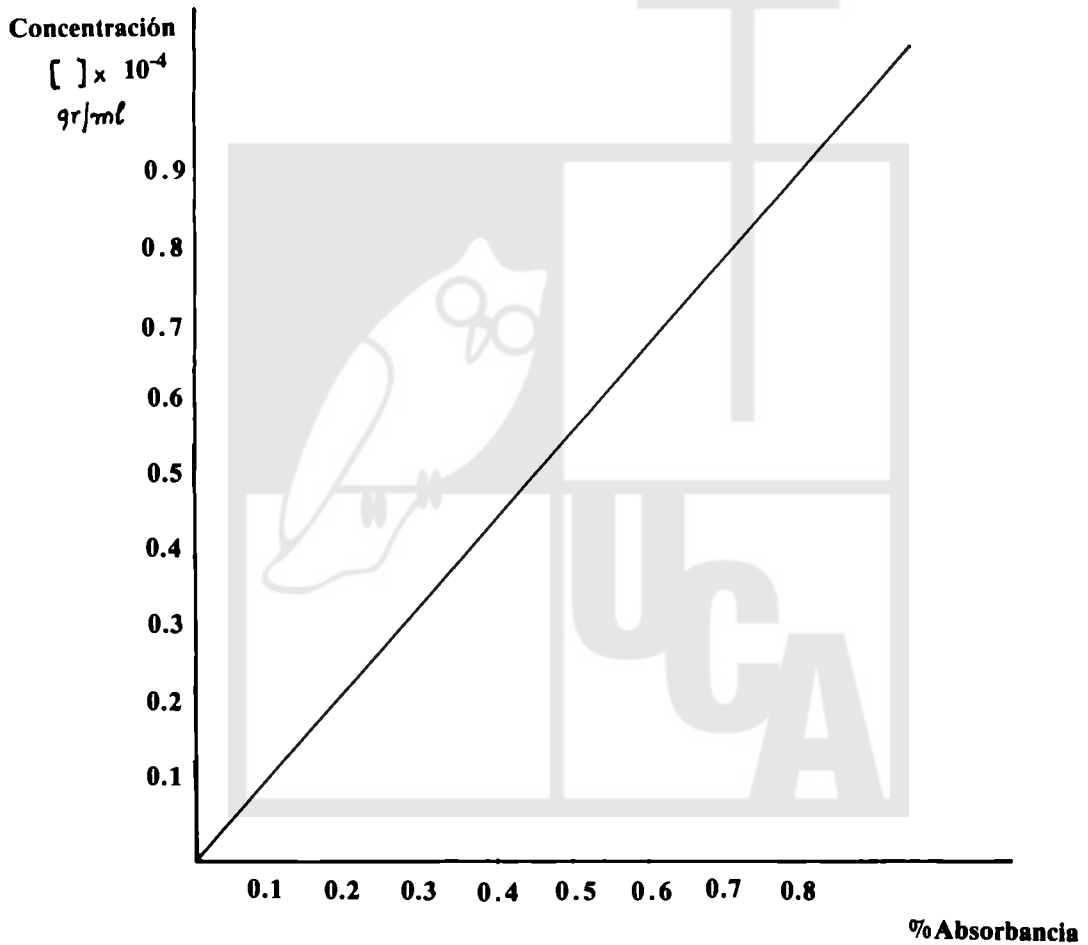
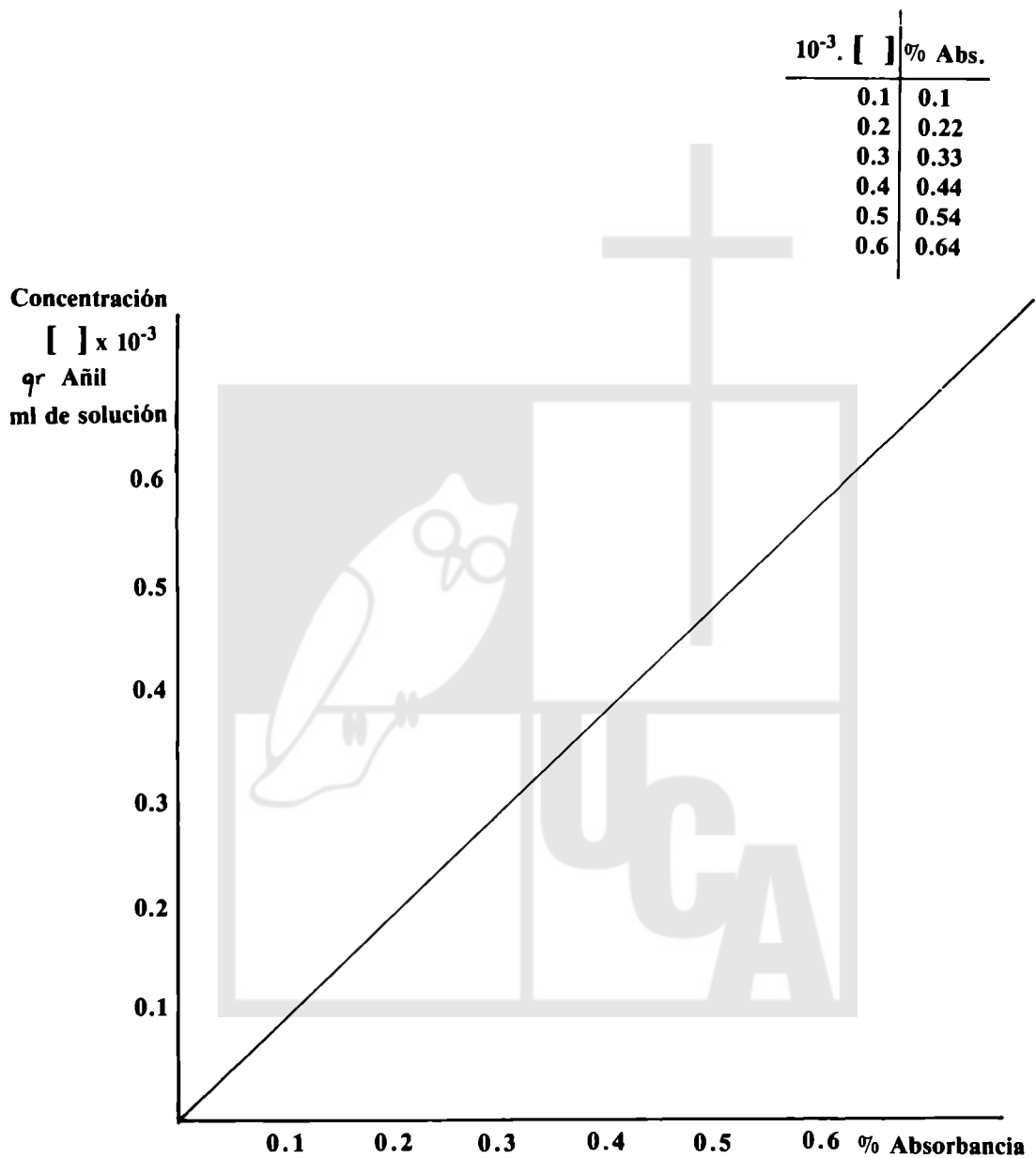


FIGURA 3
CURVA DE CALIBRACION
STANDARD AÑIL SINTETICO
450 λ



Se continuó, la etapa experimental; según Cuadro No. 9, la aplicación de nistatina, reportaba bajas en el rendimiento de colorante índigo, por lo que se llevaron a cabo otros experimentos.

Existen muchas sustancias o productos químicos que tienen capacidad de evitar la fermentación, aún en concentraciones muy bajas, algunas son el ácido benzoico, el ácido bórico, el ácido propiónico, etc.

Todos estos son ácidos, pero su acción no puede expresarse como consecuencia de su naturaleza ácida. Se cree que los benzoatos se combinan con el protoplasma de los microorganismos impidiendo su crecimiento y vitalidad, actuando probablemente como antimetabolitos.

Por afectar la nistatina, los rendimientos de colorantes, procedimos a la verificación de la presencia de hongos causantes de la aparición del colorante índigo.

El experimento llevado a cabo para ello hizo uso específicamente de productos químicos, ácido benzoico (C_6H_5COOH), en concentración del 0.1%.

Procedimientos

- i) Se pasaron muestras de igual peso de jiquilite fresco, en beakers de 1000 ml.
- ii) Se le adicionó simultáneamente agua y a un pH de 5.0 se le agregó 10 ml de ácido benzoico (0.1%);
- iii) Se dejó macerar por 12 horas;
- iv) Separamos el licor de la fibra y se oxidó durante 1 hora;
- v) Separamos el precipitado, según método dado antes y se secó el añil obtenido.

Resultados

Los resultados se presentan así:

- i) El rendimiento fue del 3.5% y la pureza del colorante del 30%.
- ii) El color de los precipitados y licor en todas las etapas, no reportó variaciones apreciables.
- iii) Temperatura fue constante en el proceso $t = 25^{\circ}C + 1^{\circ}C$.

Enseguida, se montó el último experimento para verificar si se trata de un proceso enzimático.

Experimento No. 2

Por la estructura molecular podemos pensar en que la naturaleza del colorante corresponde a la de un alcaloide indólico, posiblemente un derivado del aminoácido, triptofano.

Por un lado, conocemos a las enzimas por ser sustancias capaces de poner en marcha afinidades latentes a una temperatura determinada, en virtud sólo de su presencia.

La mayor parte de las enzimas, con excepción de unas pocas, actúan en solución acuosa.

Las moléculas se hallan en el agua en un movimiento térmico constante, hablando en términos generales, sólo pueden reaccionar cuando chocan de un modo adecuado.

Si no existen enzimas, estas colisiones sólo pueden producir una reacción química en un caso de cada billón; las probabilidades de que la reacción tenga lugar son mucho más numerosas en presencia de enzimas.

Se atribuye esto a la capacidad de la enzima de formar un complejo o compuesto de adición con el sustrato adecuado, al menos durante un tiempo breve.

Se procedió a experimentar así:

- i) Se hicieron tres pruebas consecutivas con el mismo líquido, midiendo tiempos y rendimientos.
- ii) Se pesó en cada prueba la misma cantidad de hojas frescas, manteniendo constante el volumen, 1000 ml.
- iii) Los tratamientos fueron iguales en las muestras.

Observaciones

- A) En la primera corrida no se notó observación distinta a las experiencias anteriores.
- B) En la segunda corrida, inmediatamente que se separó el licor de la fibra, se le adicionó la cantidad constante de jiquilite fresco, llevando con agua el volumen a 1000 ml.

Acá podemos decir:

- i) Los tiempos se acortaron para la primera y segunda etapa; se detuvo la primera etapa, maceración, a las 14 horas y la oxidación duró 30 minutos.
 - ii) La temperatura permaneció constante.
 - iii) La separación fue por decantación y centrifugación.
- C) Para la tercera corrida se procedió como en A y se observó:

Resultados del experimento No. 2

	Rendimiento % P/P	Pureza
Primera prueba	3.8%	37 %
Segunda prueba	3.79%	37.0%
Tercera prueba	3.7%	37.0%

- i) El tiempo de maceración estuvo entre 12 y 14 horas y la oxidación duró también 30 minutos.
- ii) Temperatura constante en todas las etapas.
- iii) El olor fétido del licor va aumentando.

Los resultados indican que la reducción del tiempo de maceración (de 18 a 13 horas) obedece a sustancias en solución que aceleran la formación del precursor del índigo. Esto parece indicar que enzimas sueltas en la solución favorecen la reacción que ocurre durante la maceración y podemos acá enunciar: **“Que la hoja suelta la enzima y la reacción ocurre en solución”**.

Conclusiones

Hasta aquí eran los objetivos de este estudio, que consideramos de mucha importancia continuarlo.

Se propone a los biotecnólogos y otras disciplinas afines, proseguir en esta investigación para mejorar el tiempo del proceso de obtención del colorante índigo, mediante el uso de enzimas apropiadas.

El análisis de elementos de importancia en la hoja fresca de índigo, jiquilite fue:

PH	
hierro	0.03 %
fósforo	0.309%
nitrógeno	5.21 %
humedad	25.0 %

BIBLIOGRAFIA

1. Stevens, R. **Dictionary of Organic Compunds**, Vol. 3. Oxford University Press, 1969.
2. Casín, Isabel. **El puntero apuntado con apuntes breves**. San Salvador: Ministerio de Educación, 1972.
3. Banco de Fomento Agropecuario. “Estudio de la viabilidad técnica-económica para la producción de añil a partir del jiquilite”, Documento No. 104. San Salvador, 1979.
4. Guzmán, David J. **Especies útiles de la flora salvadoreña**. San Salvador: Ministerio de Educación, Dirección de Publicaciones, 1976.
5. Choussy, Félix. **Economía de la industria de las plantas tintoreras**. San Salvador: Banco Hipotecario, 1977.
6. Rubio Sánchez, Manuel. **Historia del añil o xiquilite en Centroamérica**. San Salvador: Ministerio de Educación, 1976.
7. **Handbook of Chemistry and Physics**. CRC Press, 1977.
8. Braverman, J.B.S. **Introducción a la bioquímica de los alimentos**. Barcelona: Ediciones Omega, 1978.
9. Levi, S.S. **Indigo dyeing and research on ancient and modern methods in Nigeria**. Nigeria: Federal Department of Commerce and Industries Textile Laboratory, ABA, 1970.
10. **Manual of treatment process**. Env. Sci. Services Corp. Standford Conn. 06902, 1970.
11. **Chemical Activity Plant Responses and Economical Potentials**, C.A. Stulle, Am. Chem. Society, **Plant Growth regulators**. 1977.
12. Stewart. **Plant physiology**. Academy Press, 1972.
13. Snedecor, G.W. y Cochran. **Statistical methods**. The Iowa State University Press, 1973.