

IICA
F01
32

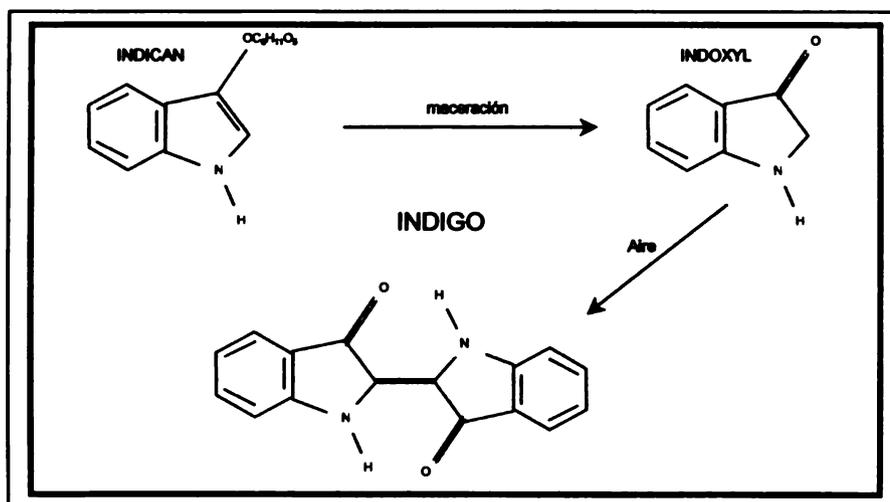


INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN
PARA LA AGRICULTURA
IICA

3 JUN. 2001

PROYECTO
MODERNIZACIÓN DEL PROCESAMIENTO DEL AÑIL EN EL
SALVADOR

CONSULTORÍA
MEJORA TECNOLÓGICA Y REINGENIERÍA DEL PROCESAMIENTO
ACTUAL DEL AÑIL EN LOS OBRAJES DE EL SALVADOR



Elaborado por

Rafael Arturo Rodríguez Córdova
Fernando Teodoro Ramírez Zelaya
José Francisco Zuleta Morataya

00006668

II CA
FOI
32

Introducción

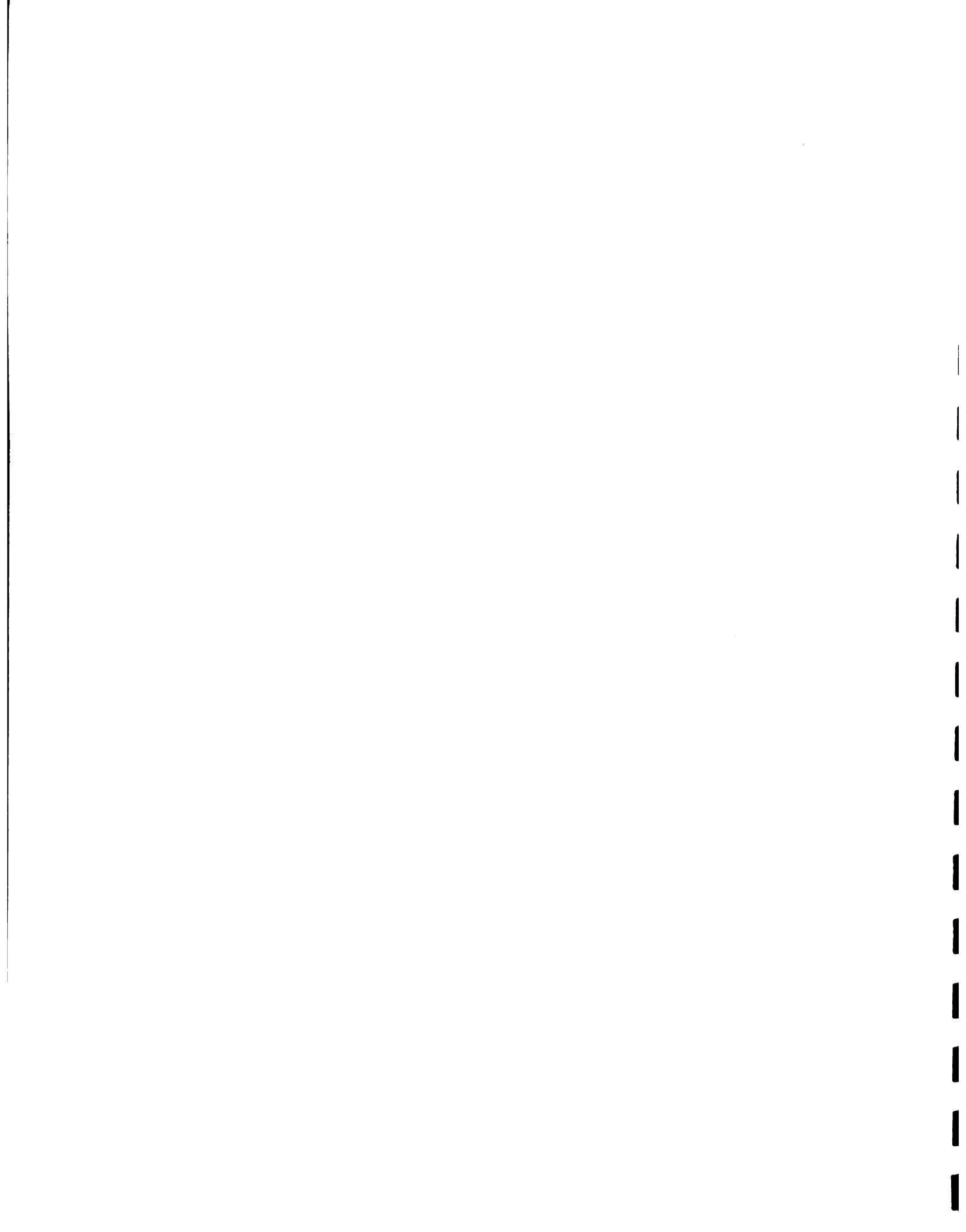
Desde la época de la colonia y con la modificación hecha por los españoles, el proceso de extracción del colorante de añil a partir de la planta de Jiquilite no ha cambiado considerablemente. En todos los procesos se identifican las etapas de corte, maceración, mezclado, sedimentado y secado.

Con el ánimo de reducir tiempos y esfuerzos, en el mezclado se han utilizado diversos métodos: desde los pies de los esclavos hasta la recirculación del agua-colorante por medios mecánicos. De igual forma, entre el sedimentado y el secado se incluye el filtrado para eliminar la mayor cantidad de agua y reducir el tiempo de su eliminación.

Como resultado de las investigaciones, se ha determinado que el Jiquilite contiene un glucósido natural incoloro que se llama indican. Por la maceración con el agua, ese glucósido se hidroliza; es decir, libera indóxico que al exponerse al aire se oxida y se vuelve insoluble, produciéndose así la índigotina de color azul.

Con lo anterior se confirma que las características físico-químicas en las diversas etapas del proceso cambian y deben ser tales que determinen la calidad del colorante. La visita al obraje de la hacienda los Nacimientos ha proporcionado información valiosa para este estudio.

En el presente documento, se presenta un análisis de la situación actual del proceso de extracción del añil y una propuesta de mejora en los elementos clave identificados para ese fin.



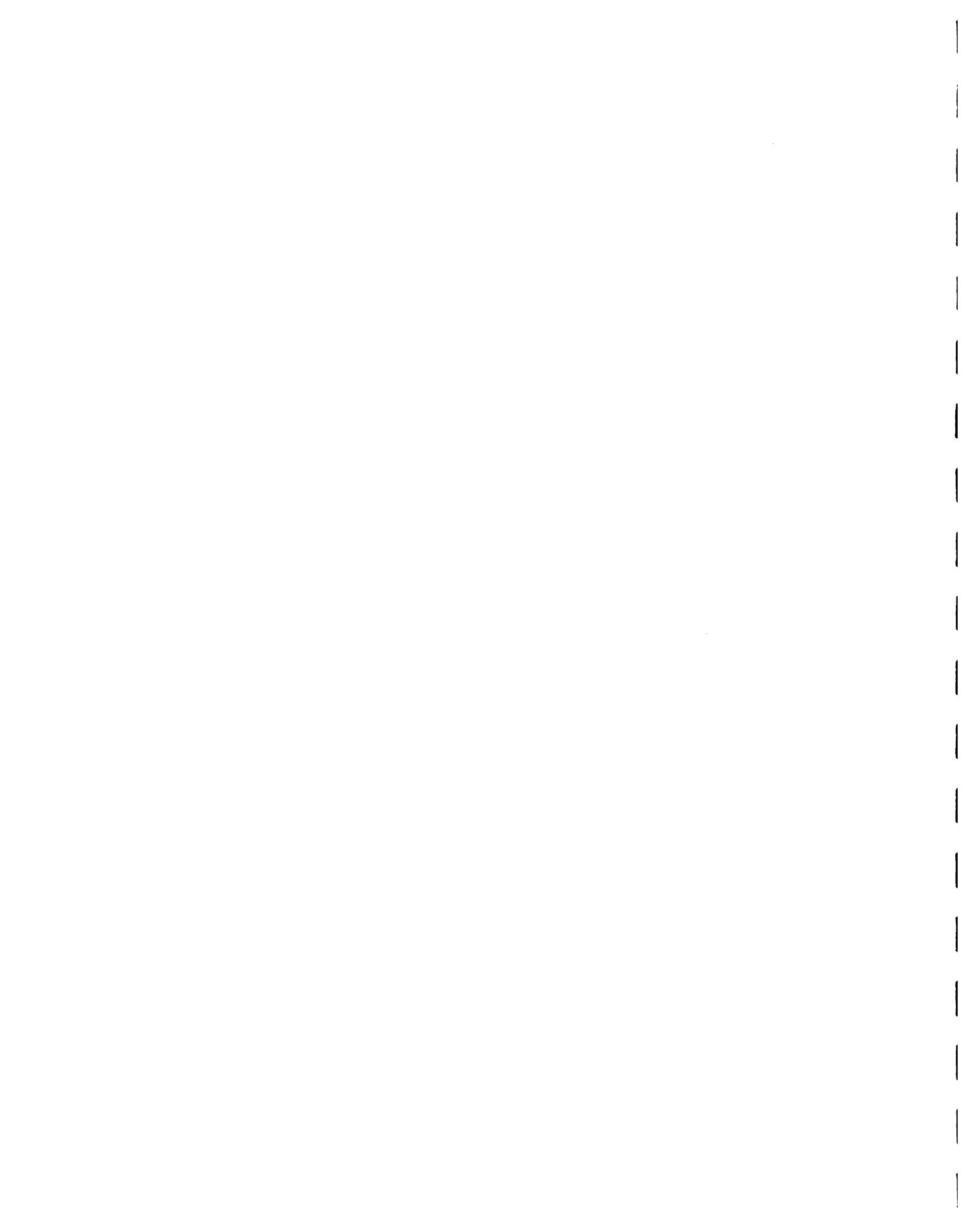
OBJETIVOS

Objetivo General.

Estudiar el proceso actual de extracción del añil para identificar los elementos claves a mejorar, con propuestas de tecnologías de baja intensidad que permitan aumentar la eficiencia del procesamiento.

Objetivos Específicos.

- ◊ Analizar los procesos actuales en obrajes y barriles
- ◊ Identificar los elementos que se pueden mejorar
- ◊ Proponer las mejoras a los elementos claves del proceso
- ◊ Construir dispositivos y ensayarlos para la mejora de la extracción.



I BIOQUÍMICA DE LA OBTENCIÓN DE INDIGO

El añil se ha extraído de forma artesanal desde hace muchos años, pero el proceso bioquímico aún no es comprendido por completo. Algunos estudios sugieren, que en la extracción del añil existen tres etapas muy importantes: la primera consiste en la extracción del Indican contenido en la planta; la segunda es una reacción enzimática en la cual se forma Indoxil, una molécula intermedia en el proceso, y tercero, por medio de una reacción de oxidación se genera el Índigo. La figura 1 muestra una reacción realizada en laboratorio, la cual da una idea de la vía metabólica propuesta.

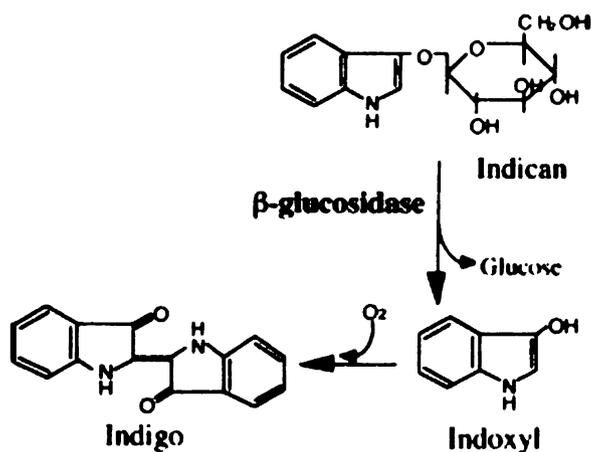


Figura 1. Hidrólisis del indican por medio de la β -glucosidasa (in vitro)

En un obraje tradicional, es en la primera pila en donde se realiza la primera etapa de la reacción propuesta. En esta pila se coloca la planta completa (hoja y tallo) para extraer el



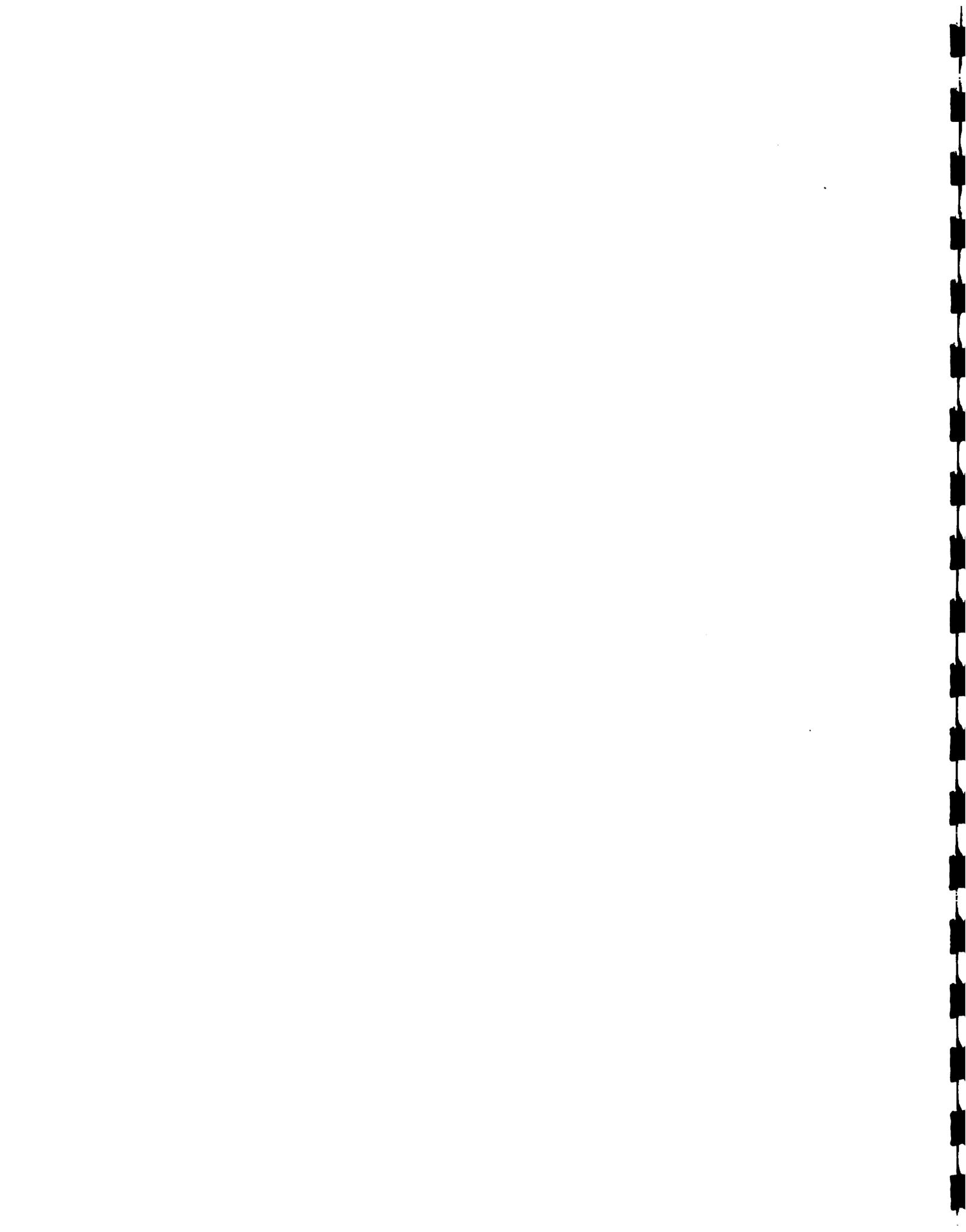
indican contenido en ella. Un estudio realizado por Minami y colaboradores utilizando *Polygonum tinctorium*, muestra que el contenido de indican se acumula en las hojas de la planta.

Un analisis de indican en las partes de la planta *Polygonum tinctorium* (hojas, flores, cotiledones raíces, brotes de flor, tallos) dio los siguientes resultados:

Hoja	32.3 pmol por mg de tejido
Otros tejidos	0.1 pmol por mg de tejido

En la hoja de la planta de añil *Polygonum tinctorium*, el indican se encuentra dentro de los protoplastos y vacuolas de las células; la figura 2 muestra unas fotografías que evidencian esto. El estudio de Minami y colaboradores muestra que el contenido promedio de indican por vacuola y por protoplasto fue de 1.4 y 1.1 pmol.

Durante el desarrollo de la planta *Polygonum tinctorium* el contenido de indican varia. La figura 3 muestra que antes de los ocho días de crecimiento de la planta no se puede detectar indican. Es hasta que se desarrollan las hojas cuando se puede detectar el indican. Dentro de la planta madura, son las hojas más jóvenes las que presentan mayor contenido de indican, la figura 4 muestra que la primera y segunda hoja desde el tope son las que tienen mayor contenido de dicha sustancia.



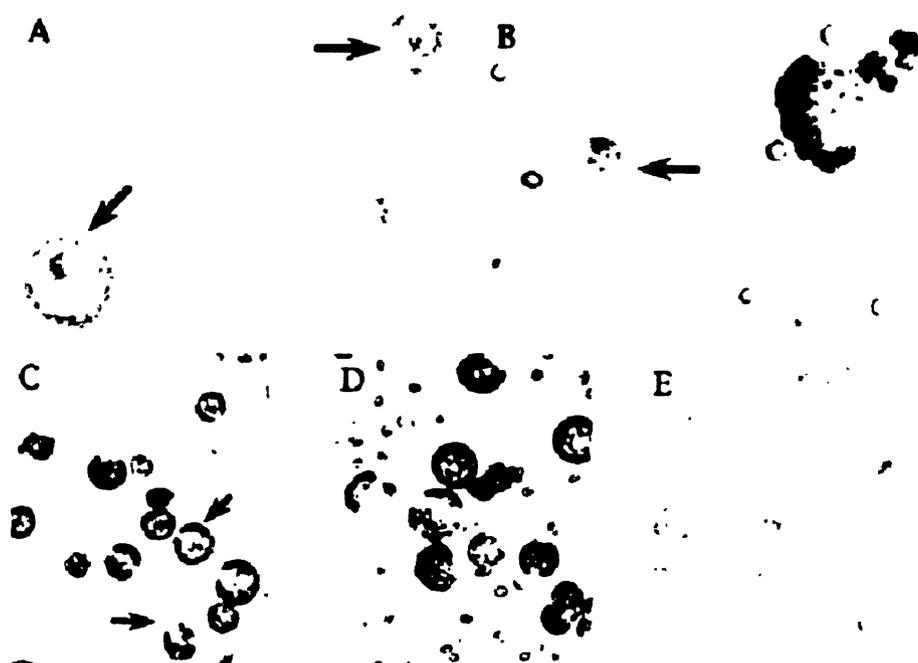


Figura 2. Formación de un precipitado azul en protoplastos y vacuolas de *Polygonum tinctorium* generadas por medio de electroporación. Todos las fotografías presentan muestras tratadas con un pulso eléctrico (200 mA, 1 s) generado por un Pulsador Gene II. Por medio de la electroporación, la β -glucosidasa se incorporó a los protoplastos y vacuolas excepto en la fotografía D. Las fotografías A, C, y D muestran los protoplastos de las hojas. La fotografía B presenta a una vacuola saliendo del protoplasto de la hoja. Los protoplastos de la hoja tratados sin β -glucosidasa se muestran en la fotografía D. La fotografía E muestra a los protoplastos del tallo. Las flechas indican a los protoplastos y vacuolas que contienen al precipitado azul. (planta *Polygonum tinctorium*).

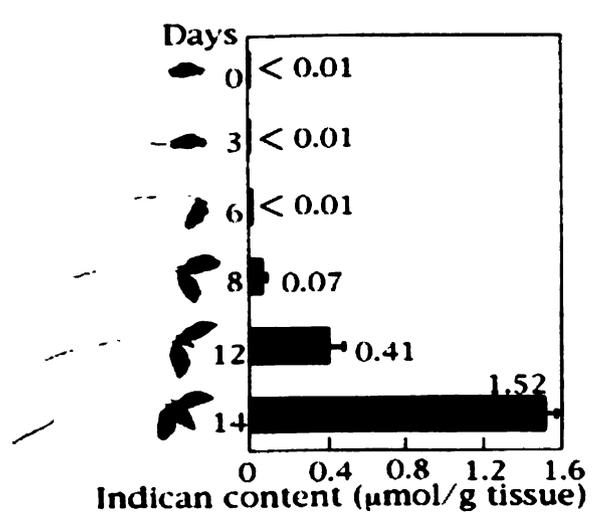




Figura 3. Cambio en el contenido de indican en toda la planta desde la germinación. El valor de cero días indica la primera exposición de la semilla al agua en ausencia de luz. Después de que las raíces aparecieron (día 3), el crecimiento de las plantas se efectuó utilizando luz fluorescente. Las barras representan promedios de 5 determinaciones. (planta *Polygonum tinctorium*).

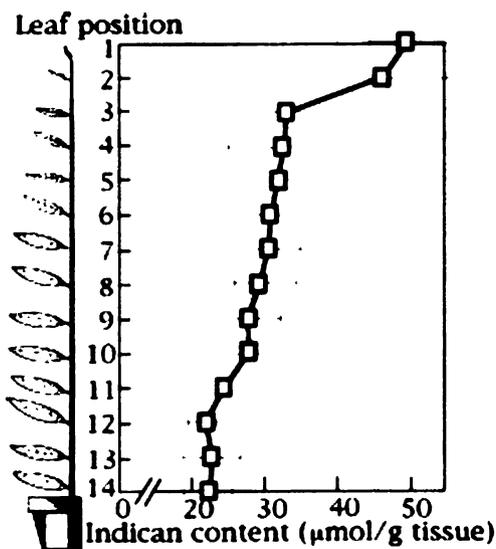


Figura 4. Distribución del contenido de indican en función de la posición de la hoja. La posición 1 representa la hoja más alta en la planta. Los valores presentados son promedios de 5 experimentos. (planta *Polygonum tinctorium*).

Dentro de la primera etapa en la extracción del añil, muchos estudios sugieren que esta es una reacción enzimática. Minami y colaboradores utilizaron diferentes extractos de enzimas para producir indoxil a partir del indican. Uno de estos extractos fue la enzima β -Glucosidasa (que se obtuvo a partir de la planta *Polygonum tinctorium*) y el otro de ellos fue el extracto Indican Synthase I.

La figura 5 presenta la caracterización del extracto enzimático Indican Synthase, la parte A presenta la actividad enzimática en función del pH, la parte B se presenta en función de la temperatura y la parte C presenta un diagrama de la cinética de la reacción. De esta



figura se obtiene que para el extracto enzimático Indican Synthase I, el pH óptimo es de aproximadamente 10 y que la actividad incrementa con la temperatura hasta un valor de 45° C luego decrece rápidamente.

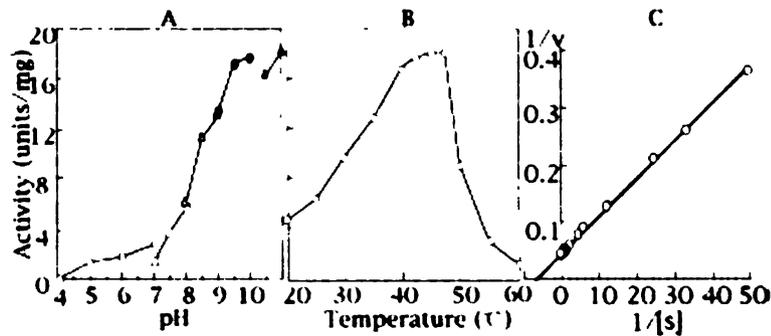


Figura 5. Caracterización del Indican Synthase I. . (planta *Polygonum tinctorium*).

La ultima etapa de la reacción mostrada al principio de este apartado, es la de la oxidación. Esta se realiza en la pila de oxidación, donde el indoxil obtenido en la etapa previa es oxidado a indigo. El proceso tradicional es por medio de aireación manual.

Kongkachuichay y colaboradores realizaron un estudio de la cinética de la fermentación de la *Indigofera tinctoria*. La fermentación fue realizada a varias temperaturas (30°, 40° y 50° C). Los resultados de este estudio mostraron que la reacción de formación del indoxil es endotérmica y el orden de esta reacción es de 0.37, la constante de la ecuación es $k (h^{-1}) = (3.42 \times 10^{11} h^{-1}) \exp (-8,840.5/T)$ y la energía de activación es de 17.6 kcal/mol. Otros datos son mostrados en la figura 6.



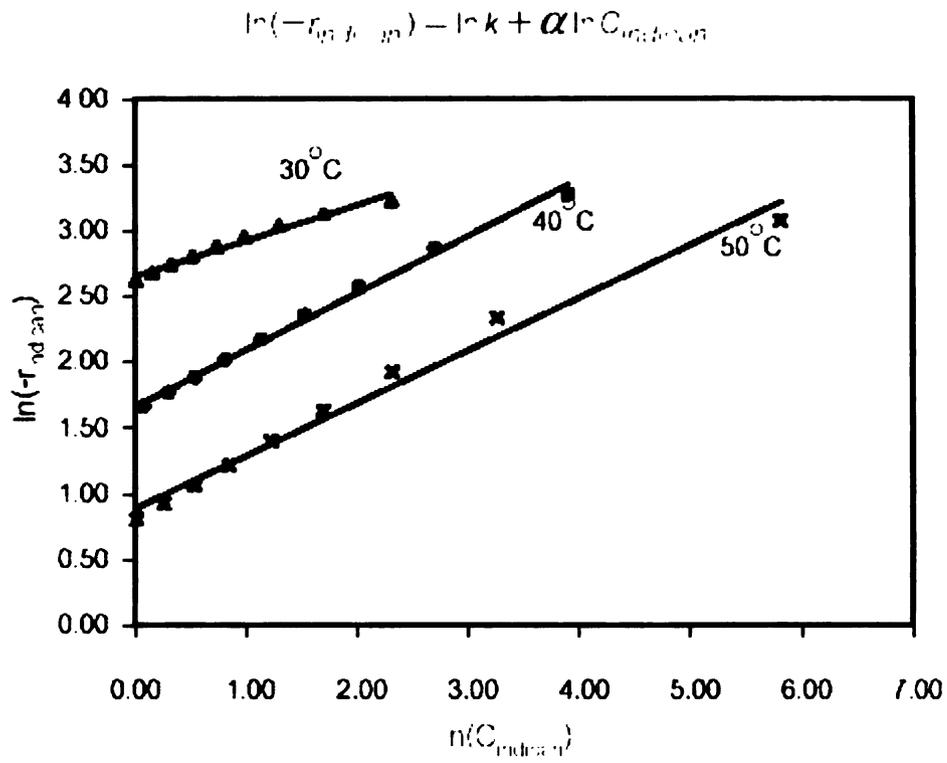
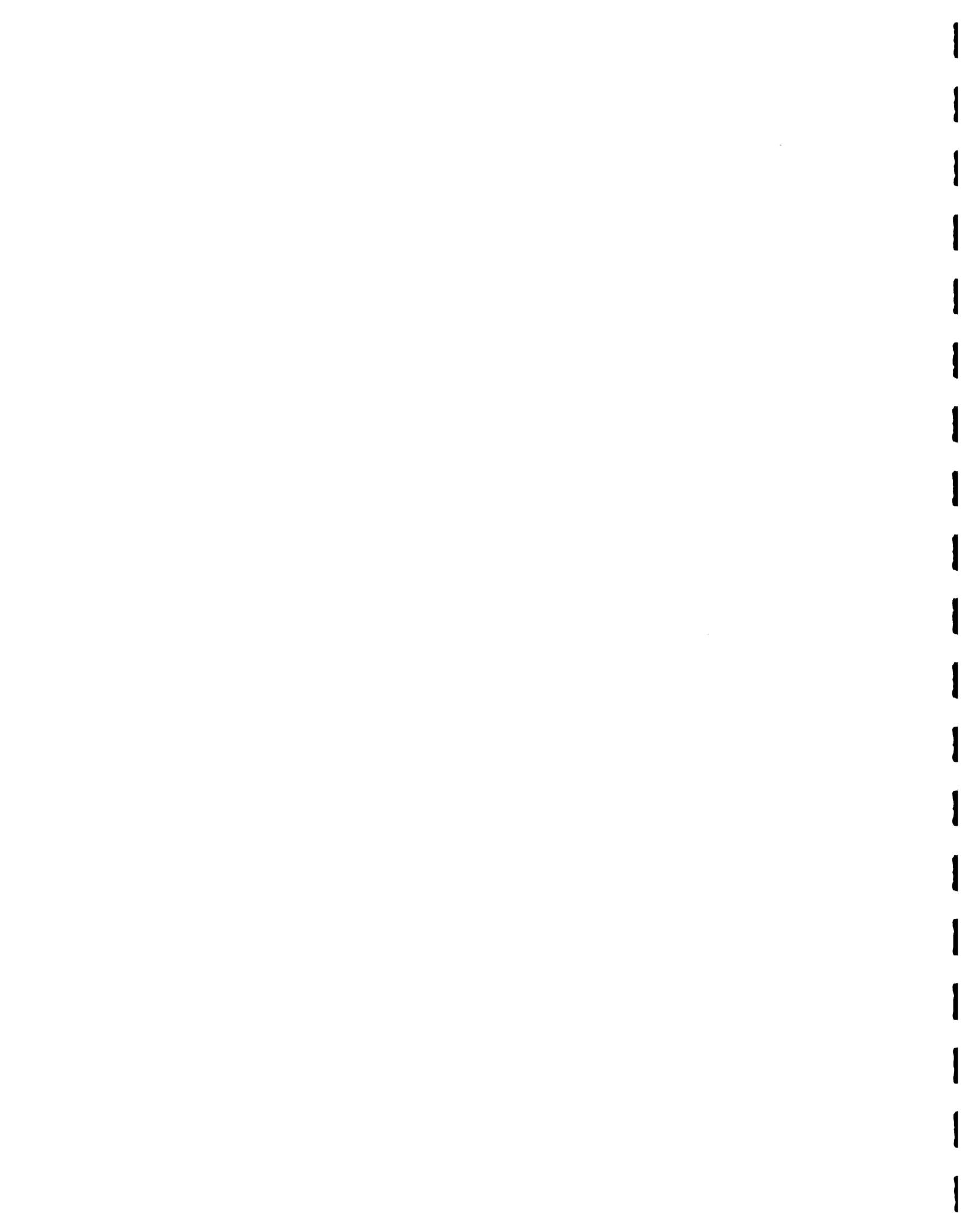


Figura 6. Cinética de la fermentación de *Indigofera tinctoria* a diferentes temperaturas



II METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION

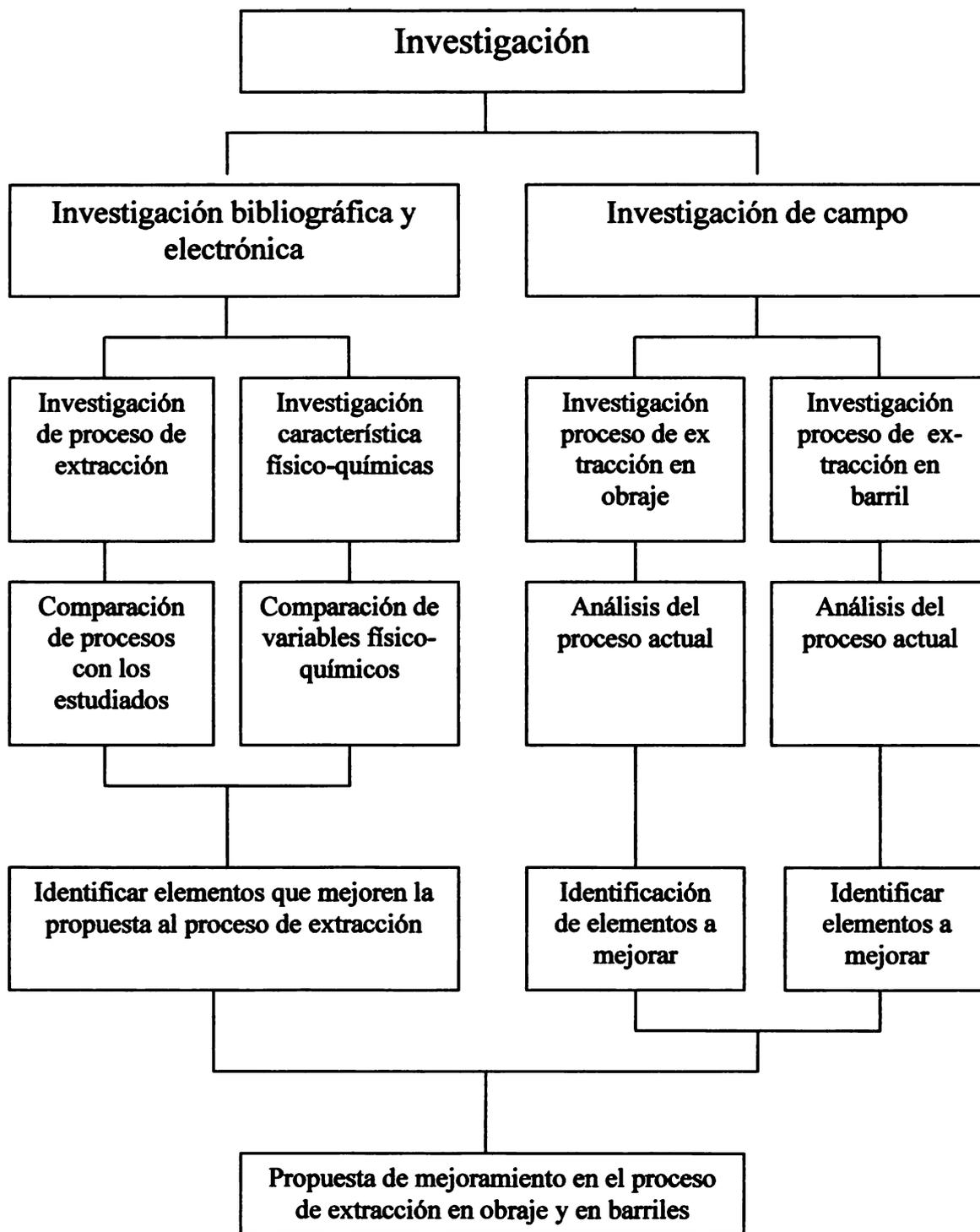


Fig. 7. Metodología de la investigación.

III DESCRIPCION DEL PROCESO ACTUAL

El proceso actual se explicará para obrajes y para el proceso en barriles que se observó en la hacienda "Los Nacimientos".

A. Proceso en Obraje

El ciclo de extracción del afile en obraje se describe así:

Inicio: Corte de planta (hoja)

Final: Colorante seco (polvo)

Actividad	Nombre	Descripción	Recursos y variables
1	Corte de ramas	Se cortan las ramas de las plantas antes de la floración. Se toman un grupo de ramas y se cortan una a una con tijera de podar.	- 3 personas - tijeras de podar - tiempo: 49 sg. por planta. Tiempo total 4 horas
2	Amarrado de manojos	Se amarran las ramas formando manojos que tienen un promedio de 25 lb. de hoja en rama	- 1 persona - cordel sintético - 10 sg. por manojos
3	Preparado de carga en carreta	Se colocan los manojos en la carreta para trasladar el material al obraje.	- 1 persona - carreta
4	Traslado de material hacia el obraje	Se traslada el material hacia la ubicación del obraje o barriles	- 1 persona - carreta - tiempo: 1 hora
5	Pesado de manojos	Una vez se descarga la carretilla se pesa cada manojos colgándolo del cordel de amarre en una báscula de resorte. Se anota las libras y se coloca junto al obraje.	- 2 personas - 1 báscula - tiempo: 25 sg. cada manojos
6	Colocación de ramas en pilas	Se desamarran los manojos y se colocan en la pila en forma alterna los manojos de ramas, procurando que quede espacio para la filtración del agua. Luego se coloca la parrilla de madera con rocas de contrapeso que evitan que las ramas suban a la superficie	- 2 personas - 46 sg. por manojos - longitud del tallo de 20 a 40 cm.
7	Carga de agua a pila	Se carga la pila con agua de pozo en obraje. Para una carga de 674 lb. Se utilizó 483.43 galones; es decir, una relación 1.40 lb. de planta por 1 galón de agua.	- bomba de agua - 2 personas - 483.43 gal. Agua - pH = 6.5 - Temp. Amb. 26.5°C
8	Maceración	Se deja la hoja y tallo en agua durante 18 horas para el proceso de	- pH = 7.5

		maceración	
9	Descarga de pilas	Se quita tapón de pila 1 y se traslada el agua a pila 2 y pila 3	- 2 personas - 4 min.
10	Descargado de ramas	Se sacan los manojos de ramas de la pila de maceración y se lleva al campo para picarlo formando rastrojo. Esta actividad se hace paralela a la oxigenación	- 1 persona
11	Oxigenación	Se agita con una paleta que tiene un guacal plástico en el extremo haciendo un movimiento de vaivén a lo largo de la pila procurando golpear el agua contra las paredes formando inicialmente espuma y después debe buscar disolver esta espuma.	- 2 personas - paletas - 2 horas - pH = 8 - a los 45 min. comienza a tomar el color azul
12	Sedimentación	Después que se ha llegado al punto donde agua ha soltado la indigotina, se deja el agua en reposo por 20 horas, cubriendo luego la pila con plástico.	- 2 personas - pH = 8 - Tem. Amb. 28°C - Tiempo de reposo 20-22 horas
13	Extracción de agua	Por medio de un sifón se extrae cuidadosamente el agua de la parte superior de la pila y se suspende la extracción hasta evidenciar colorante en el sifón.	- 3 personas - Sifón de tubo PVC ¾ pulg. - 1 hora para extraer 363 gal.
14	Extracción de indigotina	Con un guacal y cubetas de 5 galones, se saca de la pila la sustancia acuosa de añil y se lleva a tendales de manta para su filtración.	- 2 personas - guacal - cubeta - temp. Amb. 26°C - pH = 8.5
16	Recolección de añil en tendales	Con una paleta de lámina metálica se recoge la pasta de añil en forma de gelatina y se coloca en un perol para someterlo a cocción.	-2 personas - 1 paleta metálica - perol metálico
17	Cocción del añil	Se pone el añil a cocción en fuego con leña, procurando que se mantenga a temperatura de 60°C y se mantiene en constante movimiento para evitar que se pegue y se forme ceniza. Con la cocción se extrae más agua y se matan posibles bacterias que afectan la calidad de indigotina	-1 persona - perol metálico - Leña - termómetro - tiempo:40 min.
18	Secado del añil	Después de la cocción se lleva el	-1 persona



		<p>añil al área de secado y se coloca en bandejas de madera y de lámina y se exponen al sol. . Se procura que las bandejas sean poco profundas . Se coloca una capa de añil no muy delgada, aproximadamente de 5 cm. de alto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - bandejas de madera y de lamina - temp. al sol 34°C - temp. de bandeja 49°C - tiempo de secado 30 a 40 horas
19	Molido y colocado en bolsas	<p>Se saca el añil de la bandeja y se muele en un molino manual de nixtamal colocando el polvo en bolsas plásticas de 2 libras. A la vez se coloca una viñeta de identificación con los datos de producción correspondientes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -1 persona - bolsas plásticas de 2 lb. - molino nixtamal - viñetas



B. Sistema pila-barriles.

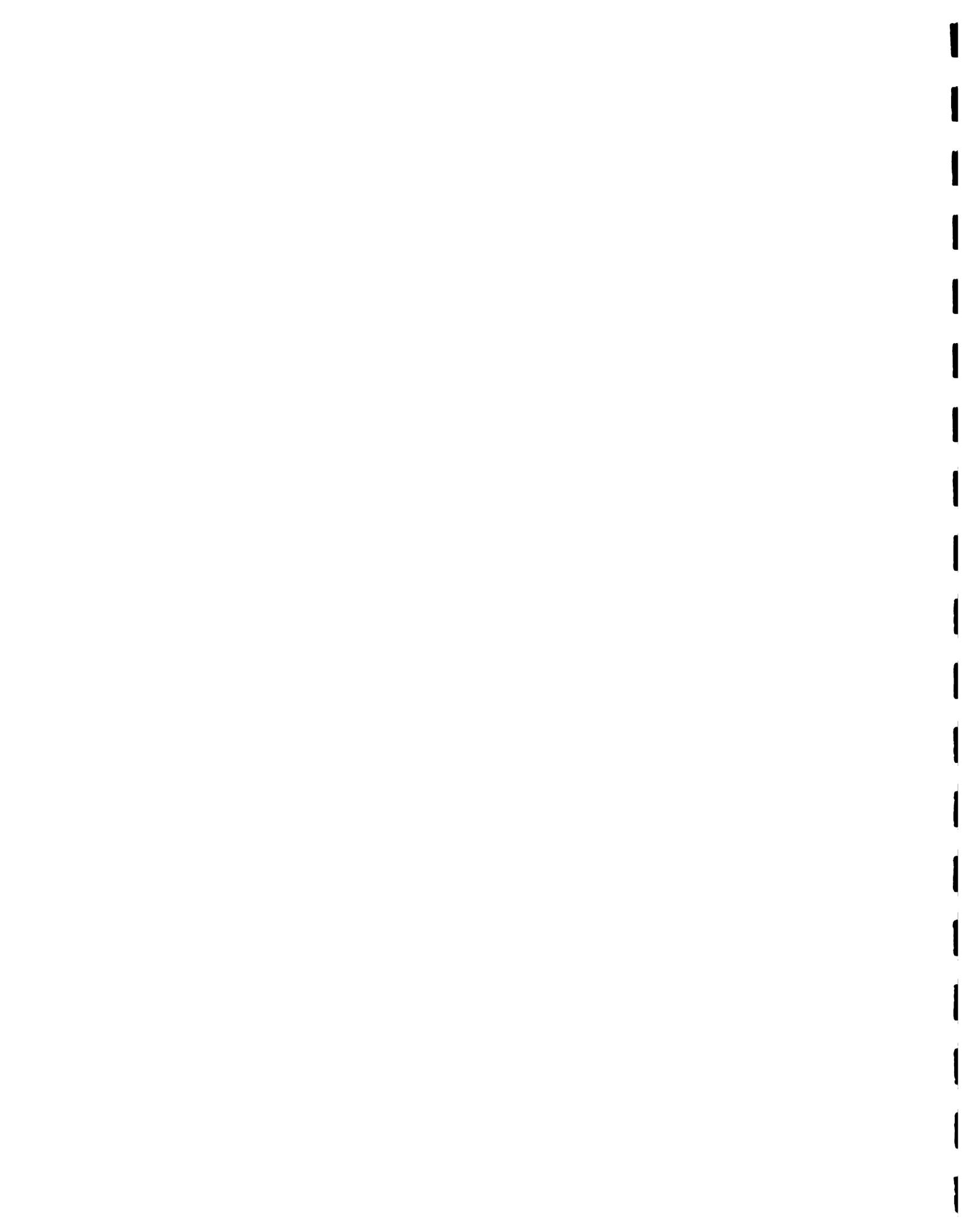
Para el proceso en barriles se observo en “Los nacimientos” que se utiliza en forma combinada los barriles y pila. Para este proceso se repiten los primeros pasos y el ciclo es igual que para el obraje:

El ciclo de extracción del afile se describe así:

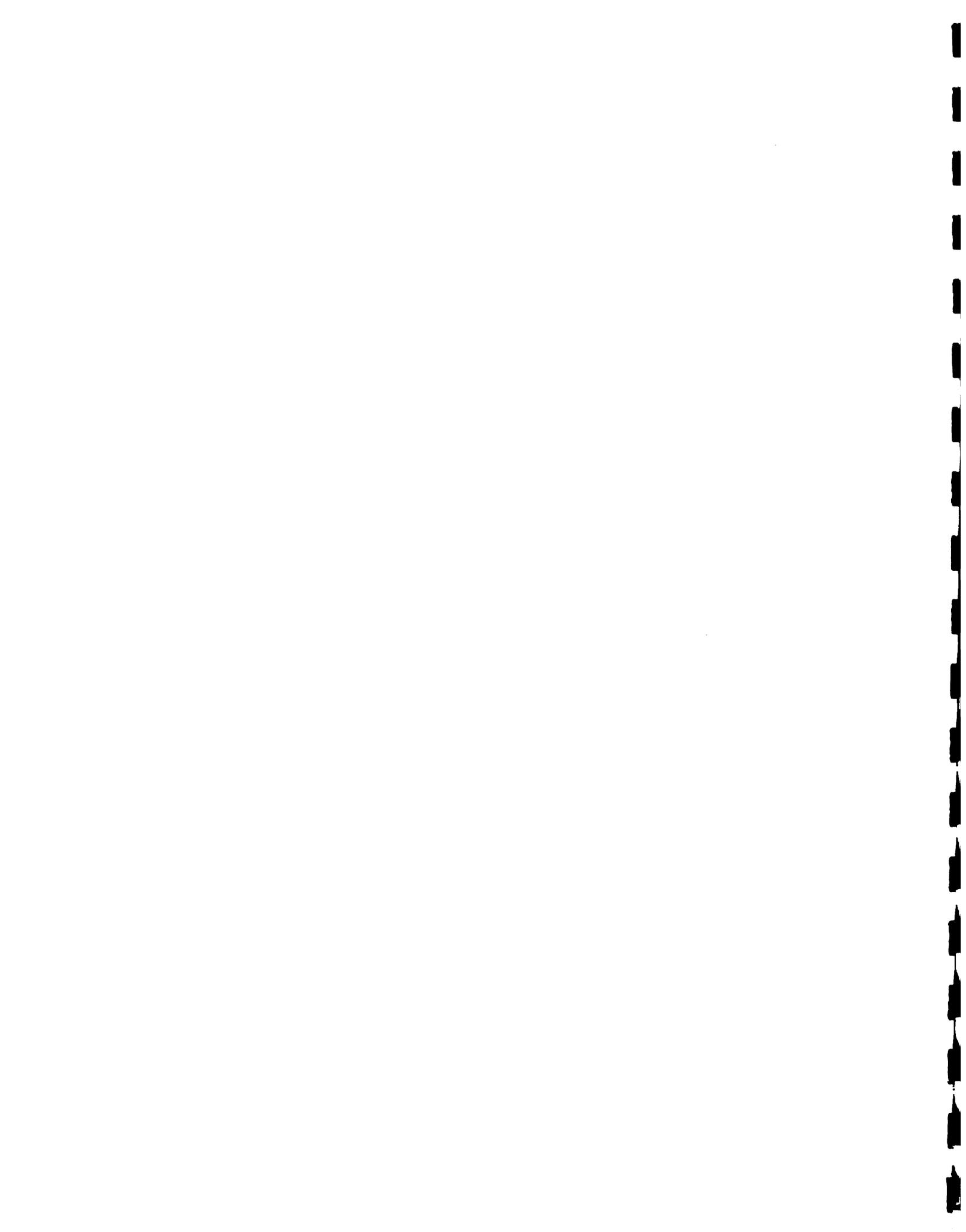
Inicio: Corte de planta (hoja)

Final: Colorante seco (polvo)

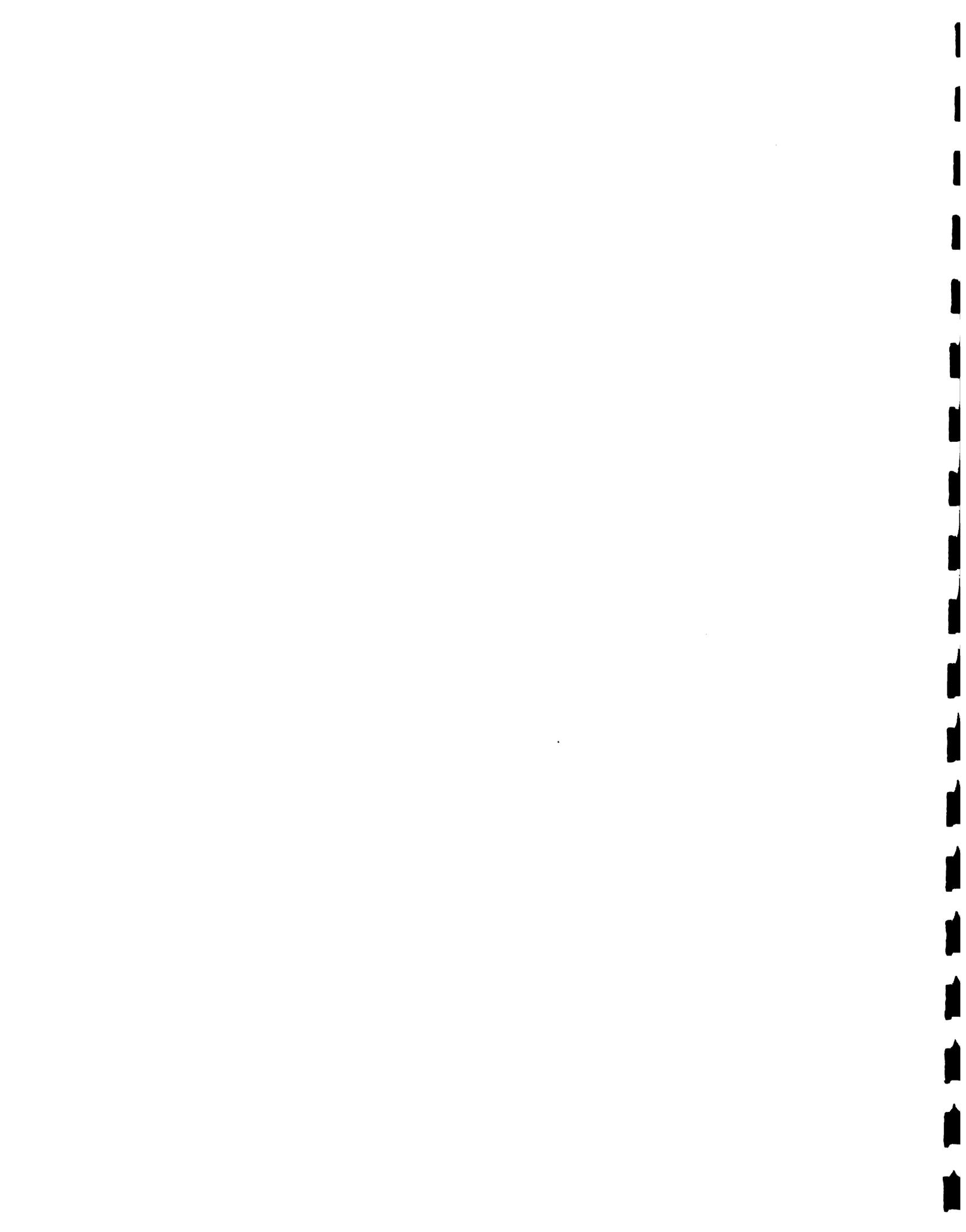
Actividad	Nombre	Descripción	Recursos y variables
1	Corte de ramas	Se cortan las ramas de las plantas antes de la floración. Se toman un grupo de ramas y se cortan una a una con tijera de podar.	- 3 personas - tijeras de podar - tiempo: 49 sg. por planta
2	Amarrado de manojos	Se amarran las ramas formando manojos que tienen un promedio de 25 lb. de hoja en rama	- 1 persona - cordel sintético - 10 sg. por manojos
3	Preparado de carga en carreta	Se colocan los manojos en la carreta para trasladar el material al obraje o barriles.	- 1 persona - carreta
4	Traslado de material hacia el obraje	Se traslada el material hacia la ubicación del obraje o barriles	- 1 persona - carreta
5	Pesado de manojos	Una vez se descarga la carretilla se pesa cada manojos colgándolo del cordel de amarre en una báscula de resorte. Se anota las libras y se coloca junto al obraje o junto al barril	- 2 personas - 1 báscula - tiempo: 25 sg. cada manojos
6	Colocación de ramas en pilas	Se desamarran los manojos y se colocan en la pila en forma alterna los manojos de ramas, procurando que quede espacio para la filtración del agua. luego se coloca la parrilla de madera con rocas de contrapeso que evitan que las ramas suban a la superficie	- 2 personas - 46 sg. por manojos - longitud del tallo de 20 a 40 cm.
7	Carga de agua a pila	Se carga la pila con agua de nacimiento. En esta, para una carga de 662 lb. se utilizó 330 galones de agua (relación de 2 lb. planta por 1 galón de agua).	- bomba de agua - 2 personas - 330 gal. Agua - pH = 6.5 - Temp. Amb. 26.5°C
8	Maceración	Se deja la hoja y tallo en agua durante 15 horas para el proceso de maceración	- pH = 7.5
9	Descargado de ramas	Se sacan los manojos de ramas de la pila de maceración y se lleva al	- 1 persona



		campo.	
10	Oxigenación	Se agita con una paleta que tiene un guacal plástico en el extremo hasta que el puntero considera que se ha llegado al punto que se ha soltado la indigotina del agua oxigenada.	- 1 personas - paletas - tiempo:1.30 horas - pH = 8 - a los 30 min. Comienza a tomar el color azul
11	Llenado de barriles	Se traslada el agua de la pila de maceración y oxigenación a barriles por medio de cubetas manualmente. Se llenan los barriles con el agua con indigotina para su respectiva sedimentación	- 3 personas - cubetas - barriles (6)
12	Sedimentación	Se deja el agua en reposo en barriles por 24 horas.	- 2 personas - pH = 8 - Tem.. 25°C - Tiempo de reposo 24 horas
13	Extracción de agua	Después de asegurarse de la precipitación de la indigotina por medio de un sifón se extrae cuidadosamente el agua de la parte superior de cada barril depositándola en la pila para después depositarla en un pozo de desagüe.	- 3 personas - Sifón de tubo PVC ¾ pulg. - 1 hora 45 min. para extraer 330 gal.
14	Extracción de indigotina	El sedimento de los barriles se traslada a los tendales. Se extrae 10 galones por barril.	- 2 personas - cubeta - temp. Amb. 26°C - pH = 8.5 -18.2% del volumen del barril
15	Colocación de sustancia acuosa en tendales	Se coloca la sustancia acuosa en tendales de manta para extraer el agua. Se coloca 10 gal. de sustancia por manta durante 24 horas.	- Marcos de tubo galvanizado - manta de 0.60x0.94 mt -tiempo: 24 horas - La manta puede durar 20 coladas
16	Recolección de añil en tendales	Con una paleta de lámina metálica se recoge la pasta de añil en forma de gelatina y se coloca en un perol para someterlo a cocción.	-2 personas - 1 paleta metálica - esponja - perol metálico
17	Cocción del añil	Se pone el añil a cocción en fuego con leña, procurando que se mantenga a temperatura de 60°C y se mantiene en	-1 persona - perol metálico - Leña



		<p>constante movimiento para evitar que se pegue y se forme ceniza. Con la cocción se extrae más agua y se matan posibles bacterias que afectan la calidad de indigotina</p>	<p>-termómetro -tiempo:1 hora</p>
18	Secado del añil	<p>Después de la cocción se lleva el añil al área de secado y se coloca en bandejas de madera y de lamina y se exponen al sol. . Se procura que las bandejas sean poco profundas . Se coloca una capa de añil no muy delgada, aproximadamente de 5 cm. de alto.</p>	<p>-1 persona - bandejas de madera y de lamina - temp. al sol 34°C - temp. de bandeja 49°C - tiempo de secado 30 a 40 horas</p>
19	Molido y colocado en bolsas	<p>Se saca el añil de la bandeja y se muele en un molino manual de nixtamal colocando el polvo en bolsas plásticas de 2 libras. Colocándole una viñeta de identificación con los datos de producción correspondientes.</p>	<p>-1 persona - bolsas plásticas de 2 lb. - molino nixtamal - viñetas</p>



IV SECUENCIA DE FOTOGRAFIAS QUE MUESTRAN EL CICLO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL AÑIL



Fig. 8. El proceso inicia con el corte de la planta de la especie seleccionada



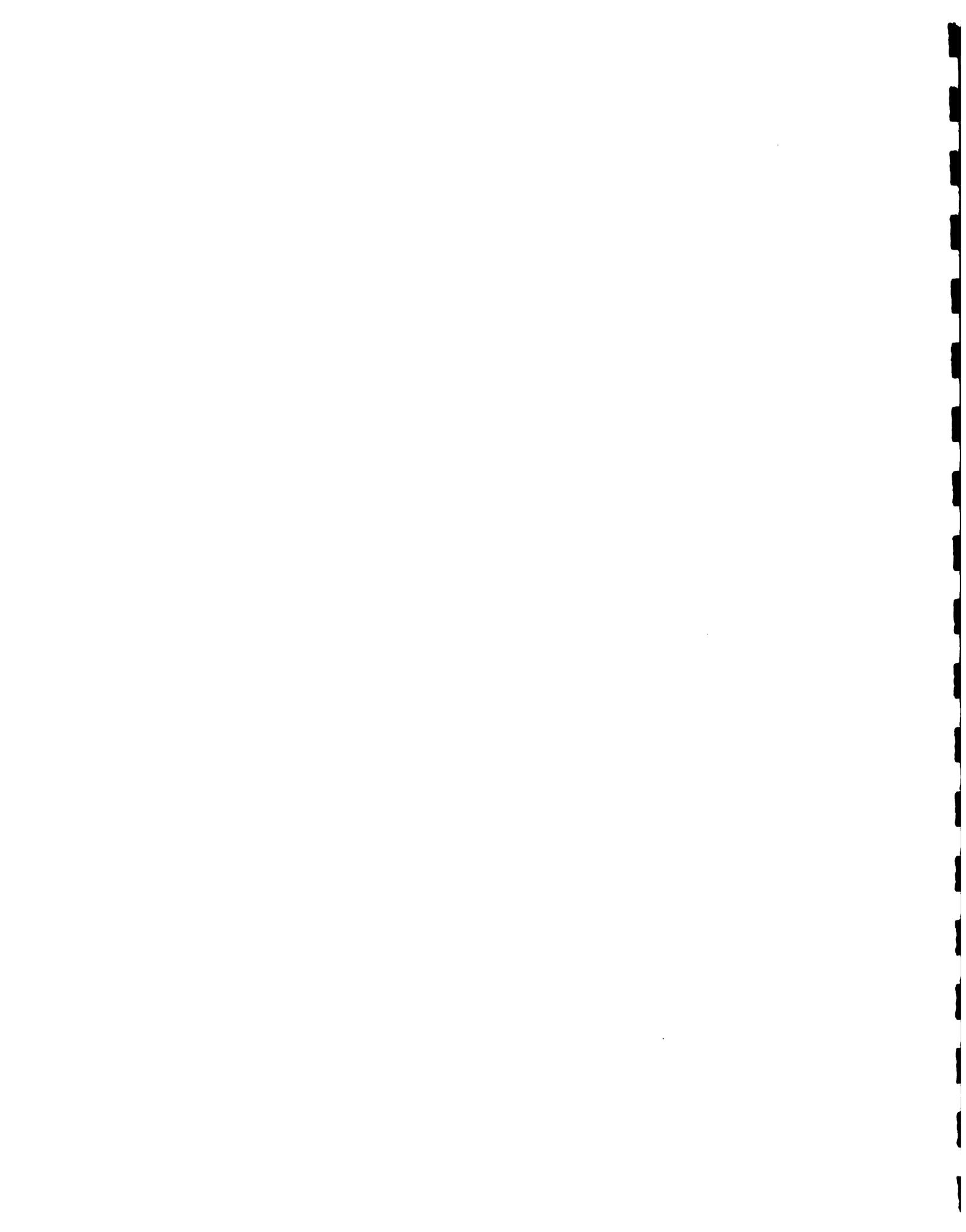


Fig. 9. Las hojas con tallo son colectadas en manojos que son trasladadas al lugar de pesado, registrando el peso de cada uno y el total.



Fig. 10. Los manojos se sueltan y se colocan dentro de la pila en forma alterna





Fig. 11. Para evitar que las ramas se levanten se coloca una parrilla de madera con contrapesos



Fig. 12. Se adiciona el agua para la maceración hasta un nivel que cubra las ramas

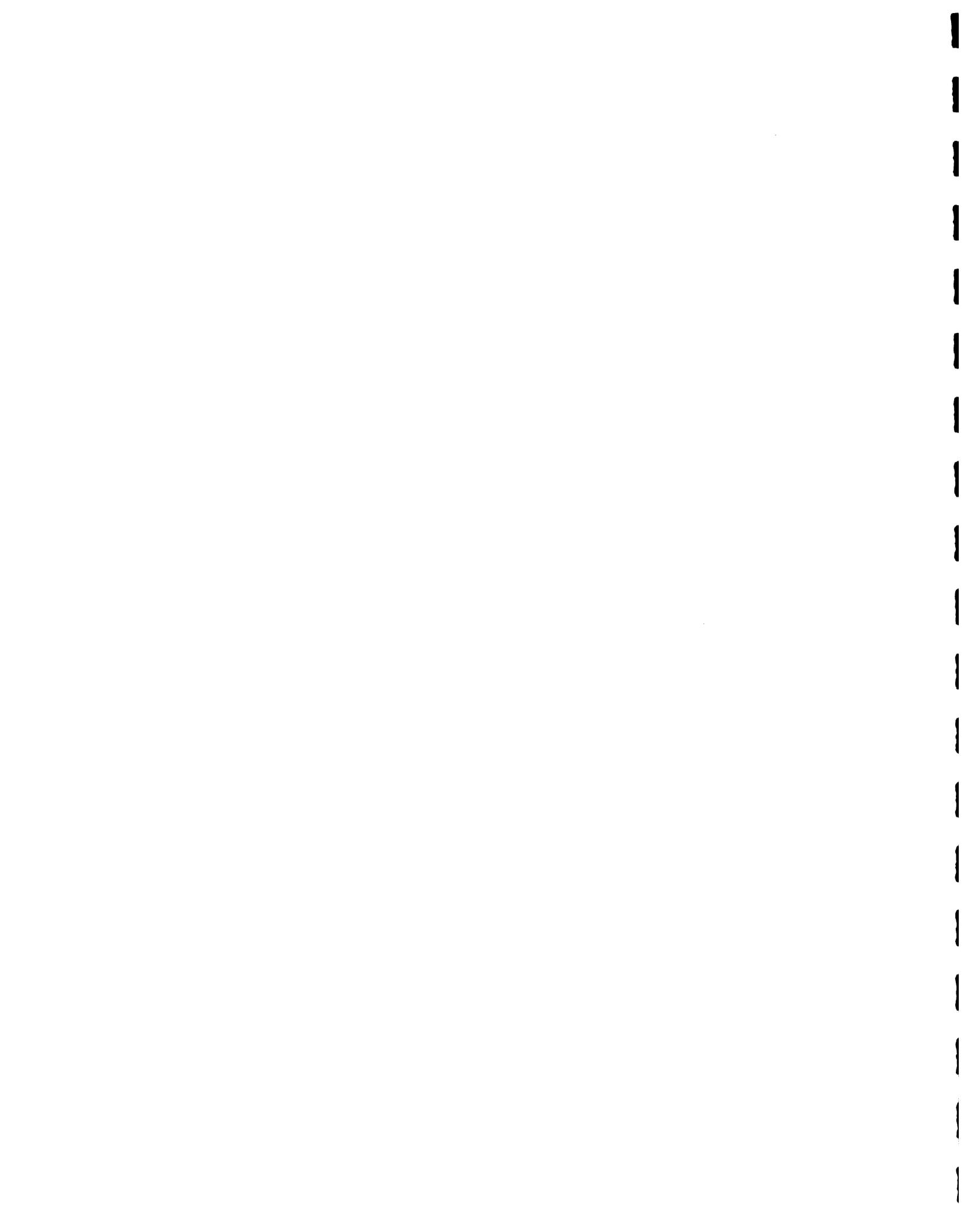




Fig. 13. Para la oxigenación se agita la solución obtenida de la maceración, con una paleta que tiene un guacal plástico en el extremo con un movimiento de vaivén horizontal



Fig. 14. Eliminación del agua residuo que queda del proceso de sedimentación por medio de un sifón, en el procesamiento en barriles

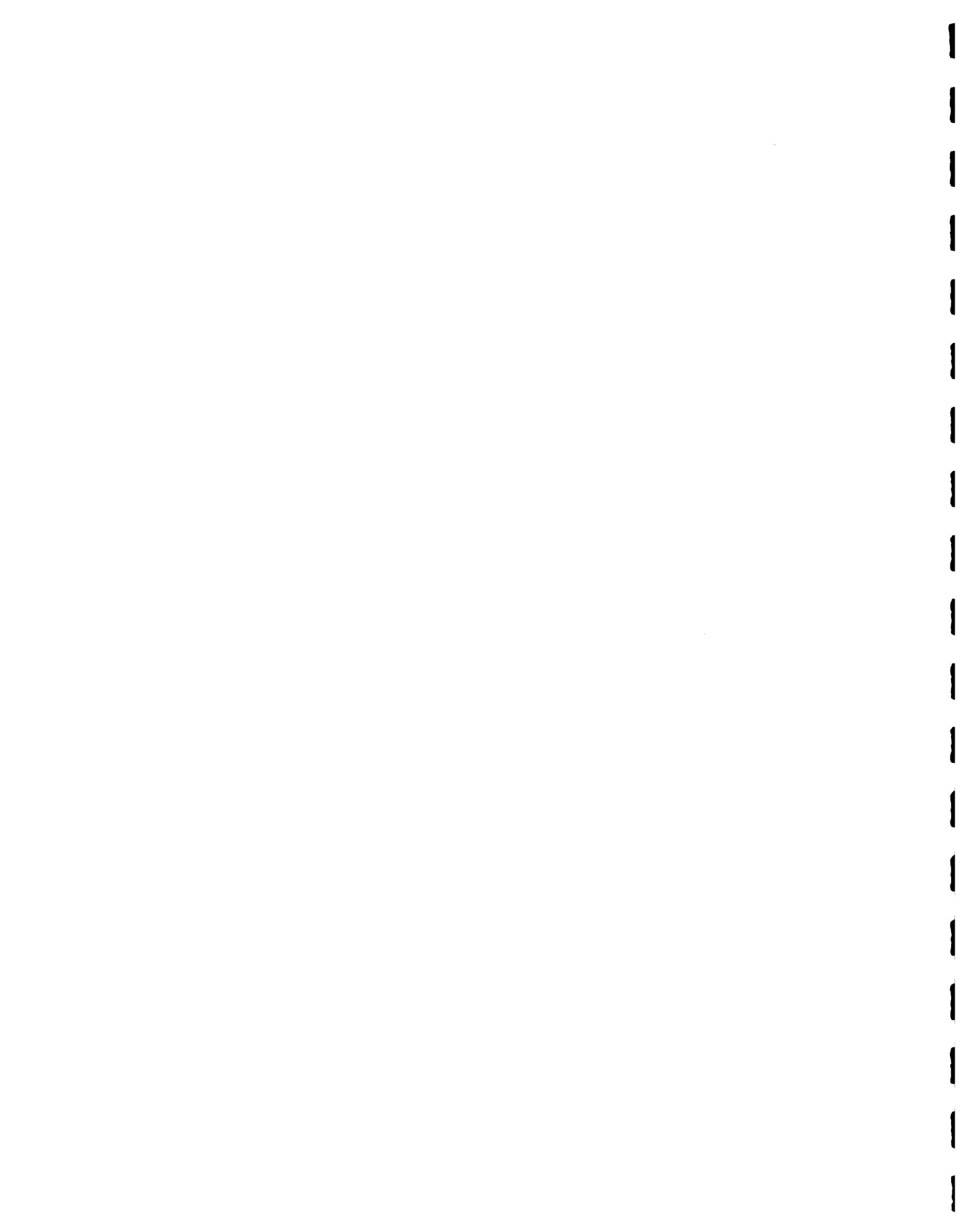




Fig. 15. Después de extraída el agua residuo, se recolecta una pasta que contiene el afil sedimentado

一、二、三、四、五、六、七、八、九、十、十一、十二、十三、十四、十五、十六、十七、十八、十九、二十、二十一、二十二、二十三、二十四、二十五、二十六、二十七、二十八、二十九、三十、三十一、三十二、三十三、三十四、三十五、三十六、三十七、三十八、三十九、四十、四十一、四十二、四十三、四十四、四十五、四十六、四十七、四十八、四十九、五十、五十一、五十二、五十三、五十四、五十五、五十六、五十七、五十八、五十九、六十、六十一、六十二、六十三、六十四、六十五、六十六、六十七、六十八、六十九、七十、七十一、七十二、七十三、七十四、七十五、七十六、七十七、七十八、七十九、八十、八十一、八十二、八十三、八十四、八十五、八十六、八十七、八十八、八十九、九十、九十一、九十二、九十三、九十四、九十五、九十六、九十七、九十八、九十九、一百



Fig. 16. La pasta recolectada en la pila de sedimentación se traslada a los tendales para extraerle el agua que contiene

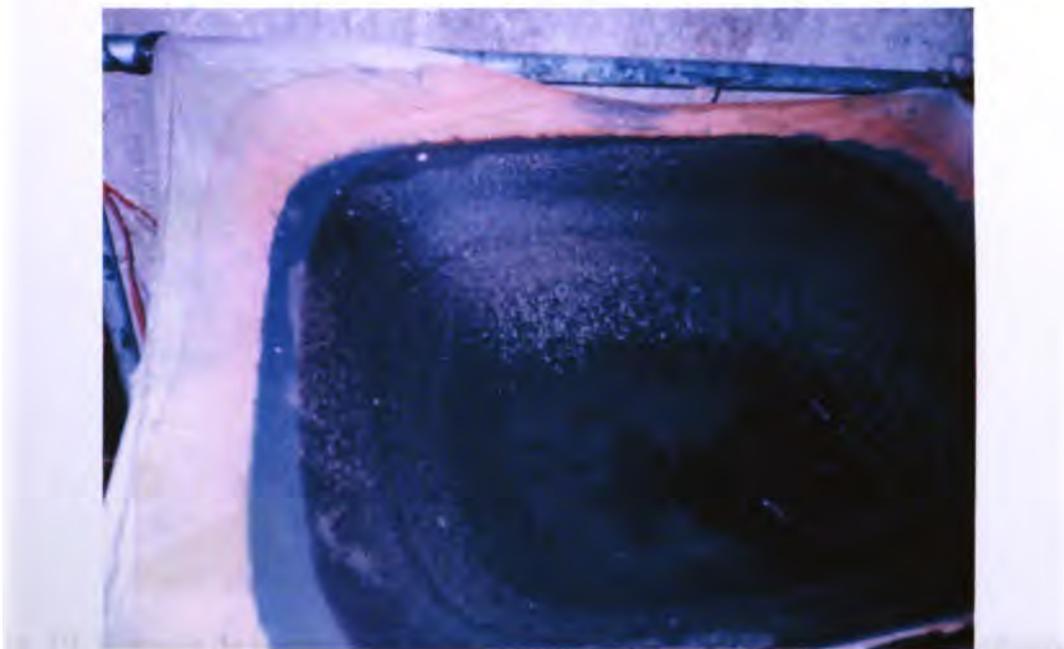


Fig. 17. Una vez filtrada el agua, se obtiene de las mantas de los tendales el afile en forma de pasta





Fig. 18. La pasta de añil se somete a cocción para eliminar agua



Fig. 19. Después de la cocción se coloca el añil en bandejas para su secado definitivo expuesto al sol.





Fig. 20. Secado de la pasta al sol



V CONSIDERACIONES IMPORTANTES DEL PROCESO ACTUAL DE EXTRACCIÓN DEL AÑIL.

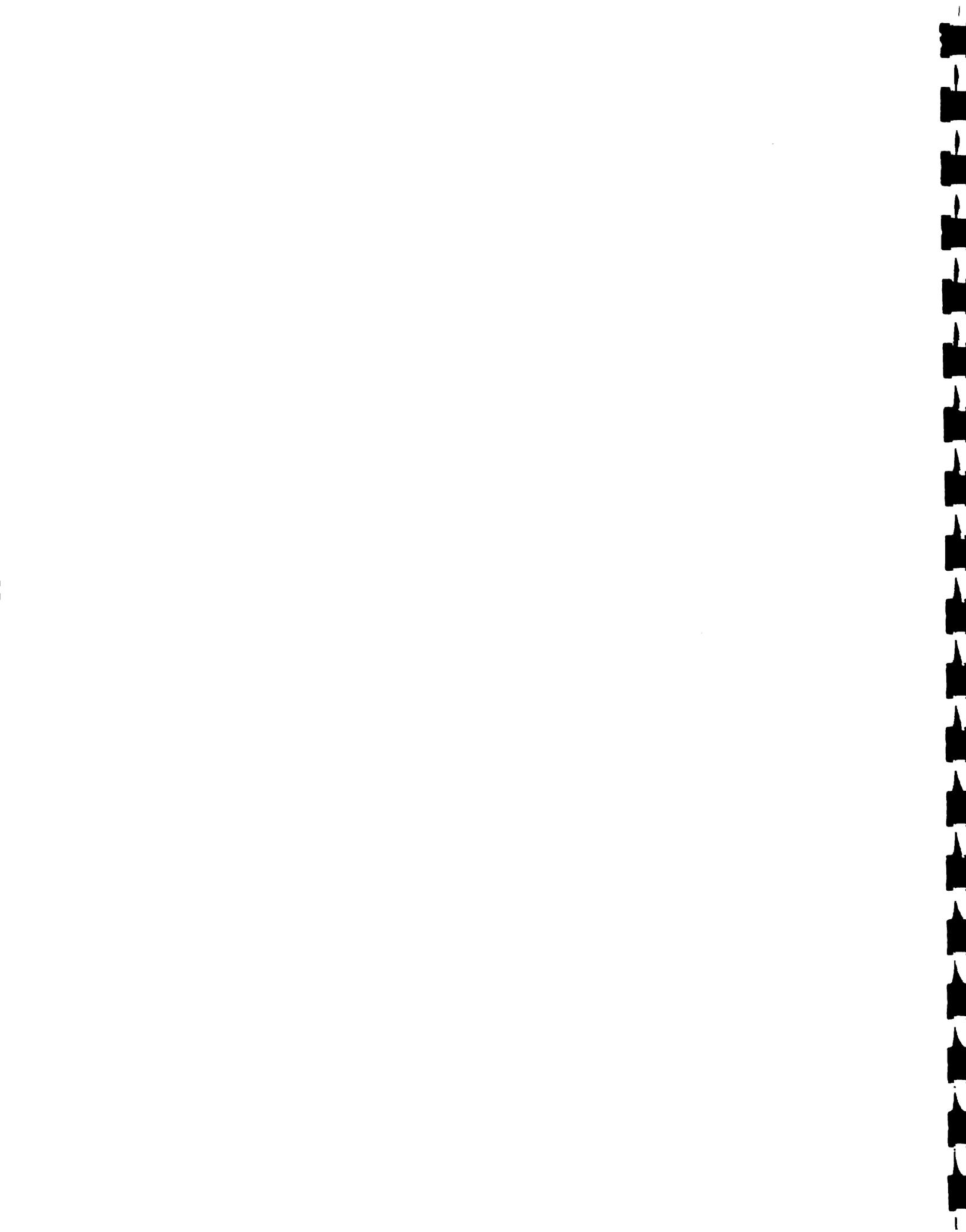
El componente principal del índigo natural es la indigotina, de la cual el colorante por su contenido se clasifica como clase alta con 70% al 90 % de indigotina clase media con el 40% al 50%, y las inferiores con un 20%.

Los efectos más significativos sobre el contenido de indigotina son:

- Volumen de agua
- Tipo y calidad de hoja (biomasa)
- La adición de un agente de fermentación.
- El factor tiempo y forma de oxigenación.

Volumen de agua

El porcentaje de indigotina presenta una tendencia a aumentar cuando el nivel de agua utilizado con respecto al peso de la biomasa es el menor. El factor volumen de agua presenta una tendencia a aumentar el porcentaje de indigotina cuando sus niveles tienden al mínimo; Según resultados de laboratorio, el nivel mínimo de volumen de agua corresponde a la relación 1:20 con respecto al peso de la hoja (50 gr. de hoja: 1,000 ml H₂O) (2). Sin embargo, según el proceso, para un peso de tallo-hoja de 675 lb. aproximadamente, el volumen de agua utilizada es de 1,830 lts., lo que hace una relación de 1:06. Si el peso de la hoja es del 60% el peso total del tallo-hoja, la relación hoja-volumen de agua será de 1:10.



En época de verano, se tendría una relación de 1:19. En todo caso, el volumen de la hoja en litros se expresa con la relación $\rho_{\text{hoja}} = 1.76 \text{ lb. / lt.}$ (Mongalo, 1978).

Tipo y calidad de hoja

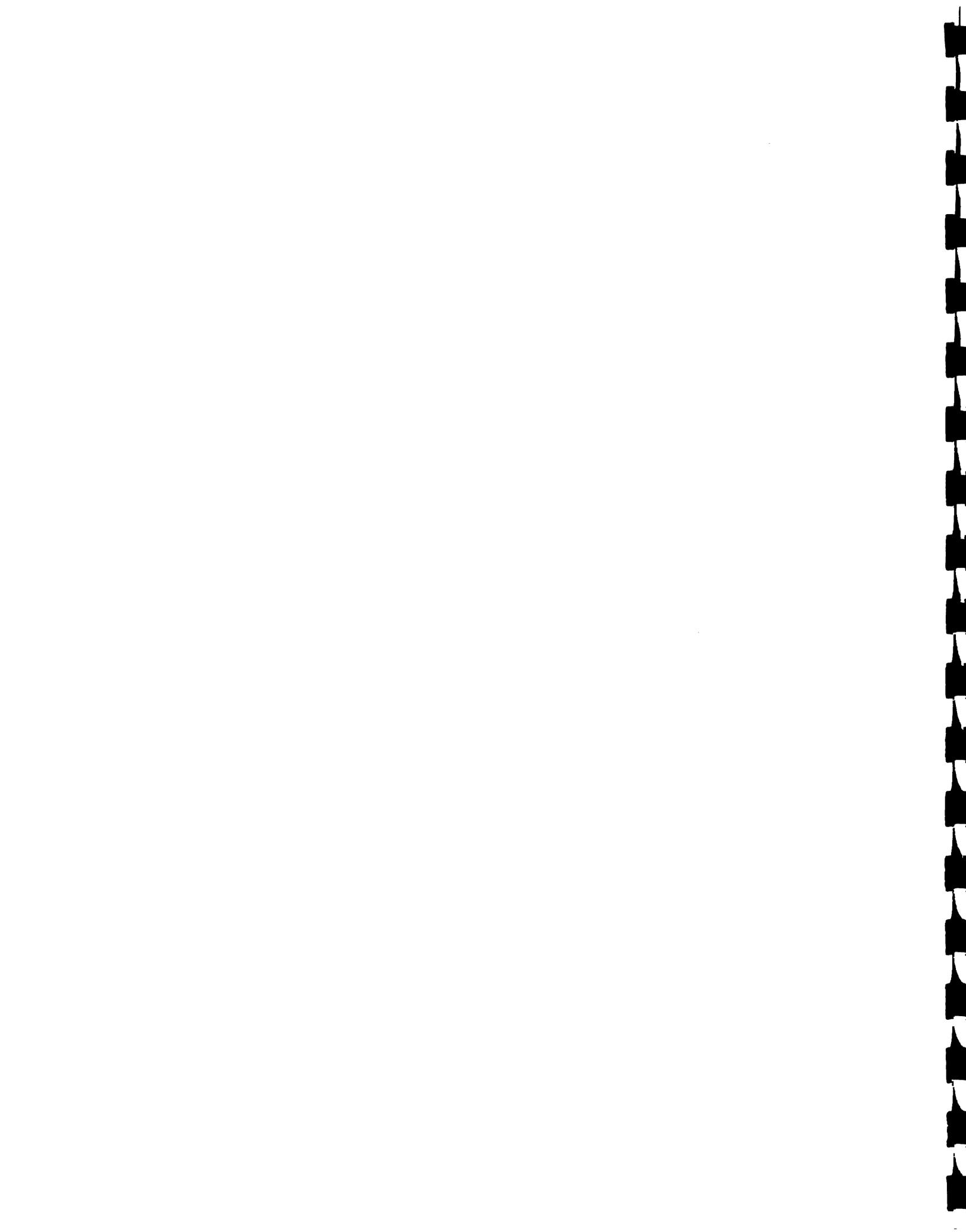
Mientras que el efecto del factor tipo de hoja, el nivel máximo de indigotina se logra con el uso de hoja fresca, característica que se logra en invierno. Se encontró que las especies de planta con la cual más se trabaja es *Guatimalensis* y la *Suffruticosa*, la segunda según las experiencias en la hacienda los Nacimientos es la que da mayor rendimiento.

La planta en invierno da una relación de 60% hoja y 40% tallo, en verano la relación se invierte, 70% tallo y 30% hoja.

Adición de un agente de fermentación

Los dos principales constituyentes químicos de la caña de azúcar son la sacarosa en el jugo y la celulosa en la fibra; cada uno de ellos está compuesto de azúcares simples (glucosa y fructosa). Los porcentajes de indigotina obtenidos adicionando glucosa como agente de fermentación, presentan menor variabilidad y son mayores en relación a los obtenidos con la fructosa. (2)

El factor glucosa presenta una tendencia a aumentar el porcentaje de indigotina, cuando sus niveles tienden al mínimo; esto es, el 5% con respecto a la cantidad de hoja.(2)



Oxigenación

El tiempo de oxigenación aumenta cuando los niveles de índigotina tienden al máximo. De acuerdo a las investigaciones realizadas, utilizando una bomba de aire de pequeña capacidad, en las condiciones de 32.4 psi de presión y un tiempo de 50.0 min., se obtiene el valor más alto de contenido de índigotina (43.5725%) (2). Sin embargo, no se incluye la variable caudal de aire, que puede incidir considerablemente en el porcentaje de índigotina.

No obstante, ninguno de los métodos utilizados en el mezclado, garantizan esas condiciones. El método de las paletas en cualquiera de sus formas, es ancestral y empírico. El reciclaje de la mezcla por bomba accionada por motor indica únicamente la presión del caudal de la mezcla que es impulsada pero en ningún momento se regula el caudal y la presión de aire. Es más, con este último método, cuando la mezcla pasa por el rodete impulsor, sufre movimientos vertiginosos a altas presiones que sobrepasan los realizados por alguno de los otros métodos, lo que hace producir cantidades considerables de espuma en tiempos muy reducidos. Este método en la hacienda Los Nacimientos ha sido descartado

En la etapa de sedimentación, se pierde colorante debido a que la forma de la pila y de los barriles utilizados, no son las adecuadas. No aceleran el proceso de sedimentación y la extracción no es eficiente. Por tanto, una variable a considerar será el diseño del recipiente de sedimentación.

El filtrado se lleva a cabo en mantas, el cual no es un método adecuado, puesto que se pierde una buena cantidad del colorante extraído al quedar éste retenido en ellas. Para secar



el colorante, debido a que no se tiene una óptima filtración, se cocina primero para evaporar cierta cantidad de agua, y luego secarlo directamente al sol. Si no se cocina, el tiempo de secado aumenta sustancialmente. En el cocinado se tiene el riesgo de quemar el colorante y la posibilidad de agregar ceniza, lo que va en detrimento de su calidad. Se concluye, entonces, que entre el sedimentado y el secado se incluyen procesos que ponen el riesgo la cantidad y calidad del colorante y el tiempo que se requiere para ello es considerable comparado con lo que se obtiene. Es de señalar que en la exposición al sol, el aire que circula en el ambiente es un factor importante en el tiempo de secado, puesto que lo hace menos eficiente.

VI PROPUESTAS DE MEJORAS

A GENERALIDADES

La propuesta de mejora del proceso actual se basa en el análisis realizado con los resultados obtenidos en las diferentes producciones que se hicieron en el obraje y en el proceso combinado con barriles de la Hacienda Los Nacimientos.

Las mejoras se presentan en las diferentes etapas del proceso:

- 1- Fermentación
- 2- Oxigenación

3- Sedimentación

4- Filtrado

5- Secado

Estas etapas incluyen actividades de preparación y complementarias que también se han realizado.

B CRITERIOS QUE FUNDAMENTAN LAS MEJORAS

Los criterios están basados en variables técnicas que han sido objeto de análisis en todo el proceso, tales como:

1- El tiempo

2- El volumen

3- El método

4- El peso

5- La mano de obra

6- La temperatura

7- La variedad de planta

8- El pH

9- La cantidad de producto

10- El porcentaje de indigotina

11- Las jornadas de trabajo

12- Los costos



C. DESCRIPCION ESQUEMATICA DEL PROCESO PROPUESTO



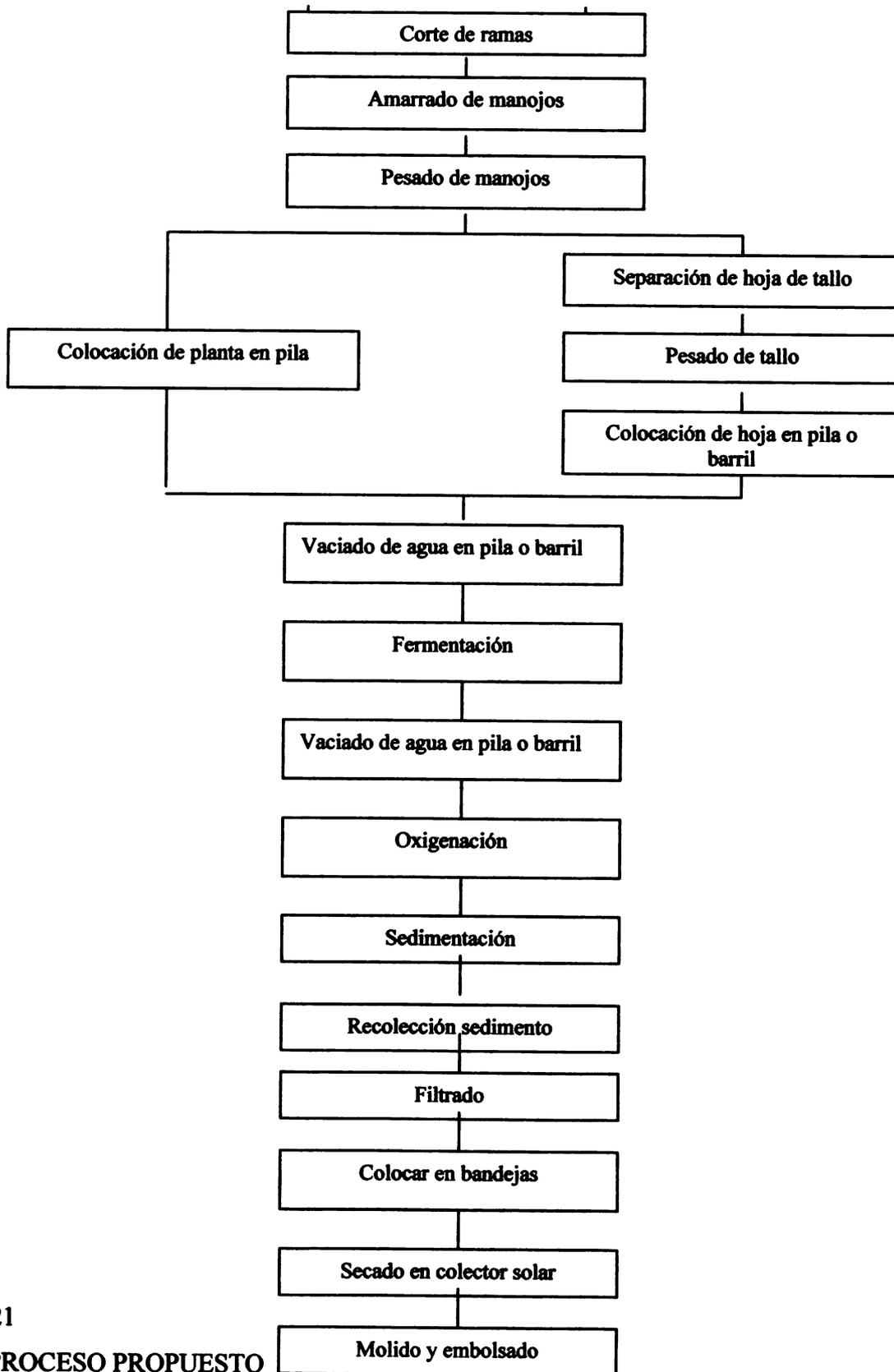
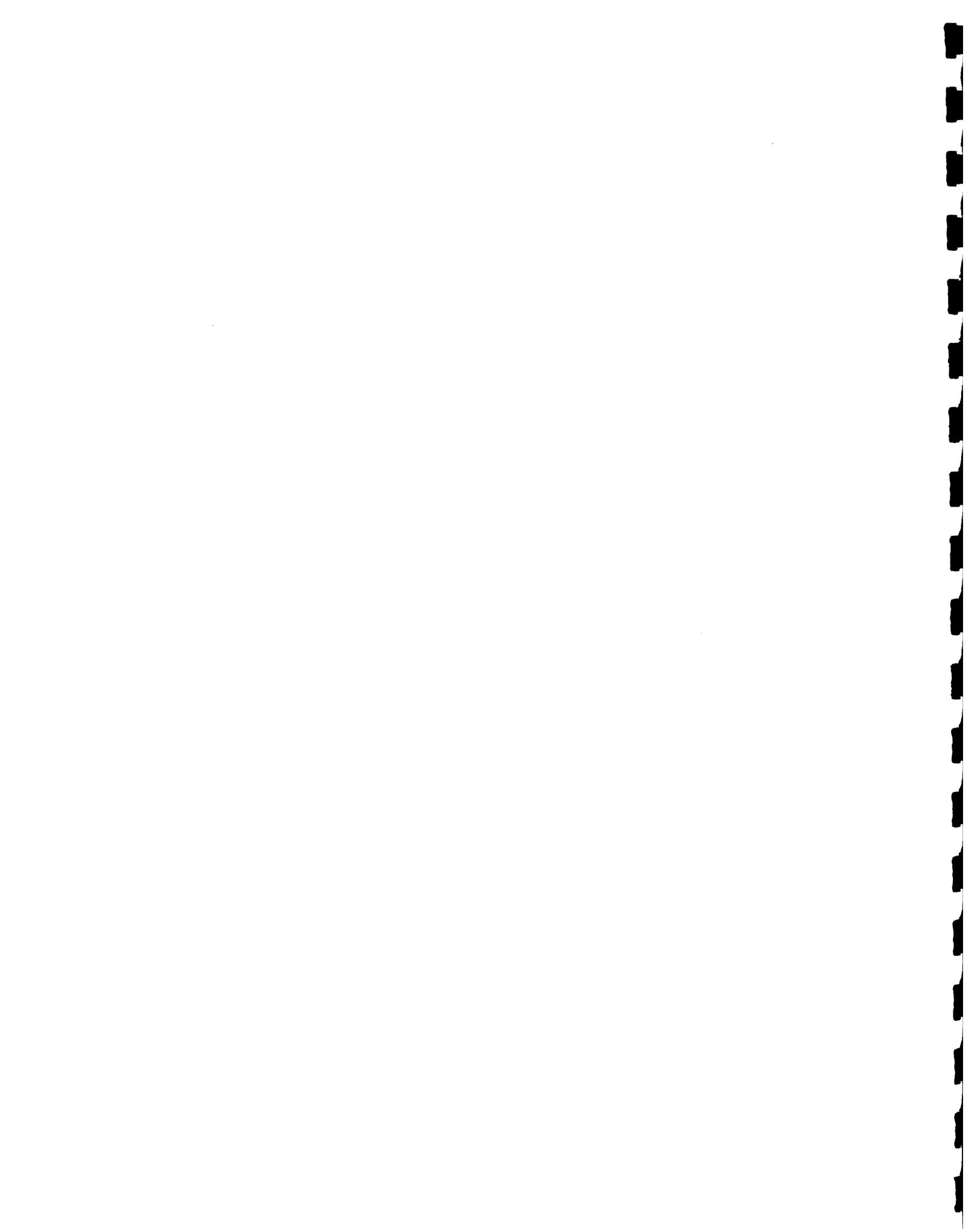
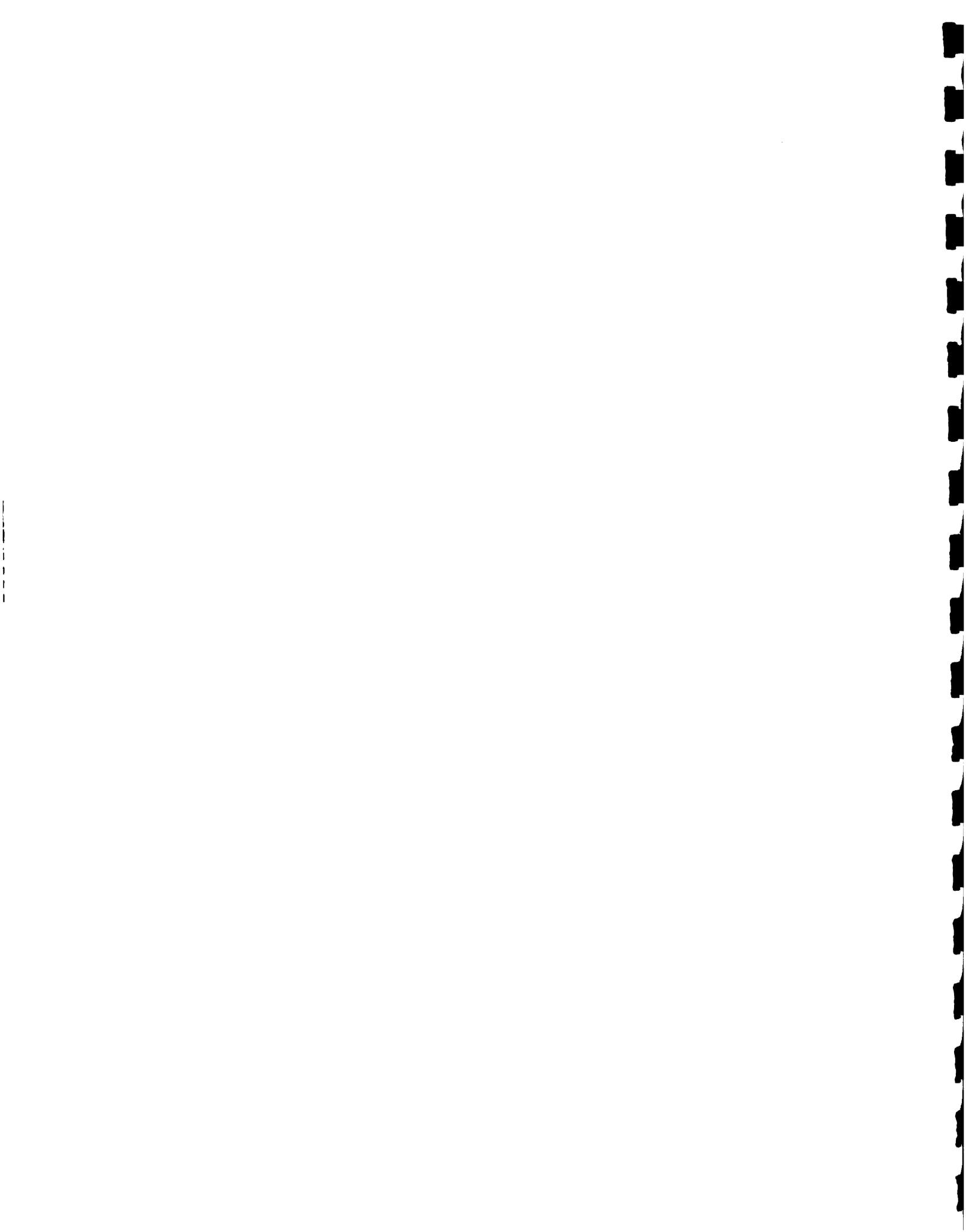


Fig. 21

D PROCESO PROPUESTO



No.	ETAPA	ACTIVIDAD	RECURSO
1	Corte de ramas	Cortar las ramas tomando un grupo y podar tallo por tallo, cerca de donde inician las hojas, con tijera de podar.	- Tijera de podar - 3 personas - Tiempo: 4 seg. por arbusto
2	Preparación y traslado de ramas	Amarrar los manojos de ramas y transportar hacia el obraje. Cubrirlos con manta si se exponen al sol.	-1 persona - Cordel para amarrado rápido - Manta -Tiempo:1° seg. por manajo
3	Separación de tallo	Separar las ramas laterales del tallo central con guante de cuero, iniciando de la parte más delgada de la planta hacia la más gruesa.	- 3 personas - guantes de cuero -Tiempo: 3-5 horas
4	Colocación de hoja	Se debe colocar las ramas laterales en la pila de fermentación de forma cruzada y traslapada para facilitar la filtración de agua. Poner contrapeso en la parte superior	-2 personas -contrapesos -Tiempo: 20 min
5	Llenado de pila	Se carga la pila con un volumen de agua que quede 10 cm. sobre la última capa de hoja.	-Bomba de agua -manguera o tubería de 1" diámetro -Agua -pHmetro
6	Fermentación	Se deja la mezcla de biomasa con agua durante un tiempo entre 12 a 18 horas. Debe cubrirse las pilas al menos con plástico para la entrada al agua de basura o lluvia que cambien su pH.	-Plástico -pHmetro -Tiempo: 16 horas
8	oxigenación	a) Oxigenación manual. Se recomienda utilizar una paleta con guacal agujereado en el extremo. Esto permite hacer el movimiento de vaivén con menos esfuerzo y mayor eficiencia. Por los agujeros pasa agua formando chorritos como una cortina de aireación y por la forma redonda del asiento del guacal, el agua se separa de el mismo aumentando la mayor cantidad de agua en contacto con el aire. b) Inyectado por aire comprimido. Esto se logra por medio de un compresor y tuberías PVC agujereada en forma de H que sirven como difusores. En el caso de barril, se usaran duchas plásticas como difusores de oxígeno..	-Paletas con guacal agujereado -Tubería PVC ½ pulg. agujereada -Duchas plásticas -Compresor de 5 a 15 Hp -Tiempo:1-1.5 horas
8	Sedimentación	Para una sedimentación más rápida y de mayor rendimiento, se sugiere modificar el fondo de las pilas para que permita una mayor precipitación de las partículas y facilidad para la extracción. (figura 31)	- pHmetro -Visor para ver sedimento -Tiempo: 16-18 horas
9	Extracción del colorante	En esta etapa se hace el drenaje de agua y recolección de sedimento. Se debe hacer una extracción previa del agua más superficial a las 4 horas para facilitar el asentamiento de las partículas y evitar la descomposición del agua (olor más fuerte)	-Tuberías -Válvulas -Cubetas -Tiempo: 2 horas
10	Filtrado (drenaje y sedimentación)	En esta etapa del proceso se recomienda colocar suficiente tendales para hacer un filtrado rotativo y se debe colocar una base de malla tipo zaranda	<ul style="list-style-type: none"> • Mantas • Estructura para tendales



		para aumentar el área de filtrado	<ul style="list-style-type: none"> • Cubetas • Huacales • Cucharas • Tiempo : 4 a 6 horas
11	Secado	Para el secado se debe depositar la pasta de afil en bandejas metálicas y estas colocarlas en un colector solar libre de sombras expuesto directamente al sol.	<ul style="list-style-type: none"> • Bandejas metálicas • Colector solar • Tiempo:3 días • Temperatura:55°C a 75°C
12	Molido	Para facilitar el molido cortar previamente en trocitos en el proceso de secado y utilizar un molino manual de nixtamal.	<ul style="list-style-type: none"> • Molino manual • Deposito para polvo • Bandeja de secado
13	Embolsado y etiquetado	Una vez molido y secado el polvo se debe colocar en bolsas plásticas debidamente identificadas con una viñeta .	<ul style="list-style-type: none"> • Bolsas plásticas • viñetas

E. CONDICIONES Y REQUERIMIENTOS PARA EL PROCESO ACTUAL

1- Para el corte de ramas.

Se recomienda que se realice con tijeras de jardinero para no maltratar la planta; hacer tres cortes por año como máximo y antes de la floración. La hora

de corte debe ser en la mañana para aprovechar la hora más fresca y conservar mejor la característica de la planta y que ofrezca un mejor rendimiento en cantidad y calidad. La hora recomendada de inicio de corte es la las 6:00 a. m. . Debe evitarse que la hoja cortada este expuesta mucho tiempo al sol.

2- Preparación de ramas y traslado a obrajes.

Se recomienda que se preparen manojos de ramas para facilitar el traslado y el control del peso de la materia prima a utilizar. Para el amarrado se debe utilizar cordel con



ganchos en los extremos para amarre rápido. Se deben colocar los manojos en el medio de transporte y se deben cubrir con mantas (pueden utilizarse las mantas usadas de filtrado).

3- Separación de tallo.

Es importante separar el tallo principal y secundario grueso de las ramas laterales con hojas para un mejor aprovechamiento del agua y de las pilas de obraje.

Con solo hoja se puede procesar mayor cantidad de biomasa útil y se ahorra un 25 % de volumen de

agua que se pierde en el tallo, la cual ya no deberá ser oxigenado..

Para un control de la cantidad de materia prima a procesar, se deben pesar inicialmente las

ramas con tallos y después se pesa el tallo grueso separado; por diferencia se conocerá el peso de la materia prima a procesar.

$$\text{Peso de la materia prima} = \text{peso de rama completa} - \text{peso de tallo sin hoja}$$

Se recomienda utilizar una balanza de muelle para facilitar el manejo en el peso de los manojos.

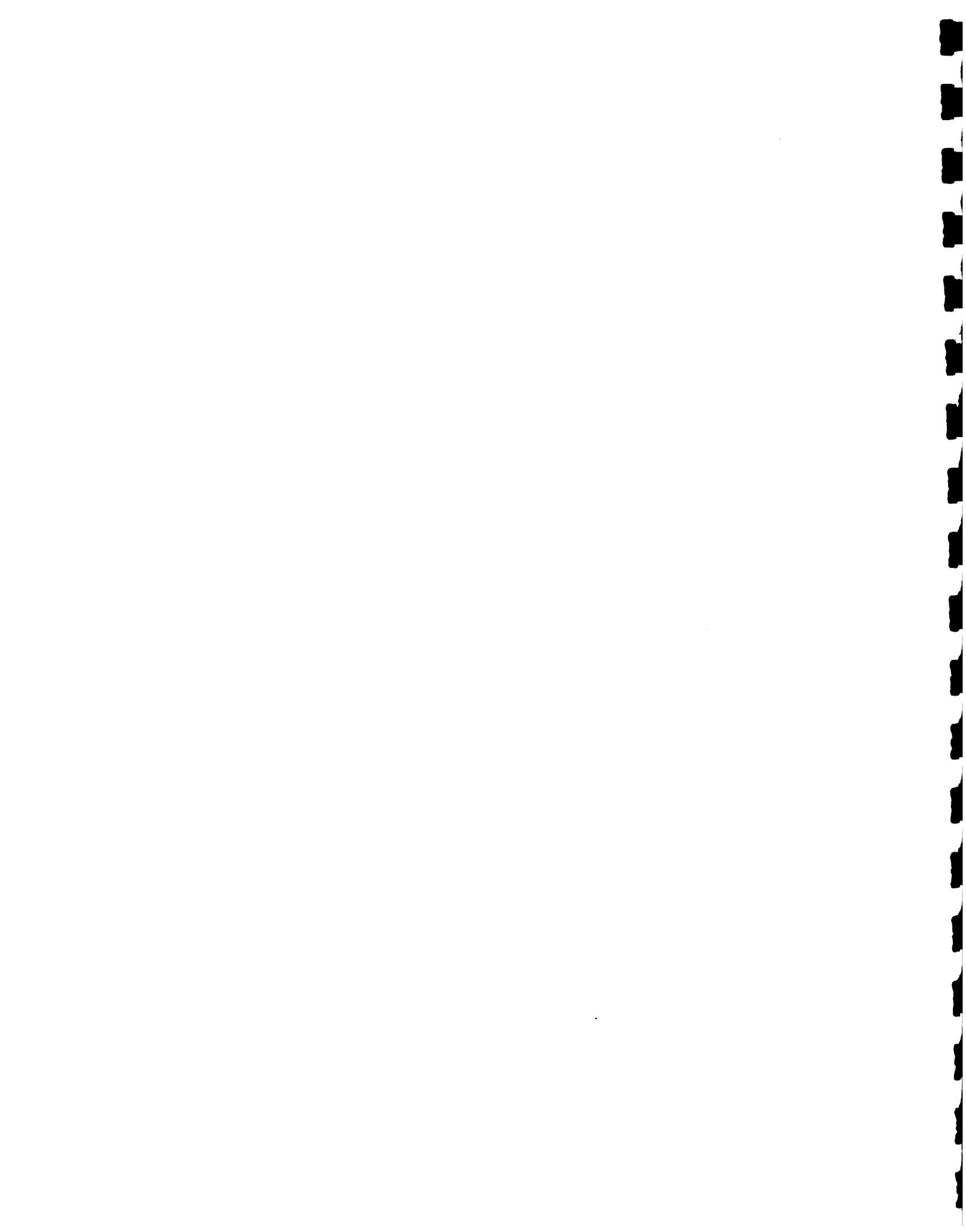




Fig.22 Pesado de biomasa

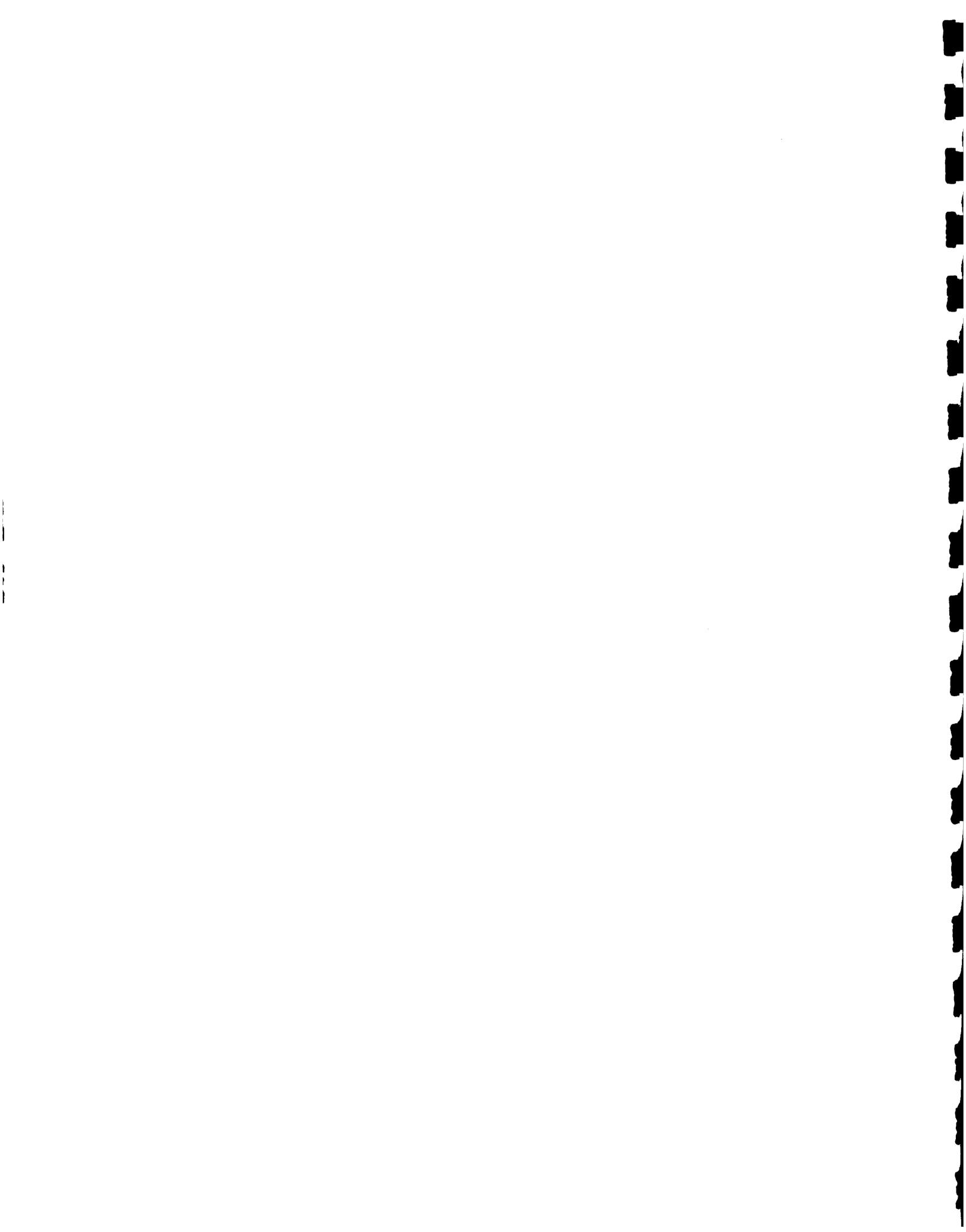
4- Llenado de pila.

Para incorporar el agua al proceso, se puede utilizar agua de pozo de nacimiento (fuente superficial) o agua de red (agua potable). Para depositarla en la pila se puede hacer por medio de bomba de agua, por gravedad (depósitos aéreo) o por manguera con toma de la red. La manguera o tubería que se utilice debe ser de un diámetro no menor de 2 pulg. para cubrir rápidamente la biomasa con agua.



Fig.23 Adición de agua a biomasa

La cantidad de agua debe tener una relación con respecto a la biomasa para maximizar el rendimiento de la hoja en la producción de indican (precursor de la indigotina). La relación agua-biomasa presenta la tendencia de aumentar la indigotina cuando el volumen de agua con respecto al peso de



la hoja es más bajo.

Según los datos obtenidos en el campo, se tienen las siguientes relaciones.

Variedad	Peso de planta (lb)	Volumen de agua (gal)	Relación Peso planta : Volumen agua	% Indigotina
Suffruticosa	628	484	1.40: 1	65.32
Suffruticosa	422	175	2.41:1	40.60
Guatemalense	402	175	2.3:1	26.23

Cuadro 1

Considerando utilizar solamente hoja, se deben tomar en cuenta los datos siguientes:

Para época de inicio de invierno

Peso de planta (lb)	Peso de hoja (lb)	Porcentaje hoja (%)	Volumen de agua (gal)	Relación Hoja en lb. : Agua en gl.
402	170	42.3	180	1.00 = 1.06
422	180	42.6	180	1.00 = 1.00

Cuadro 2

Para época de invierno:

Peso de planta (lb)	Peso de hoja (lb)	Porcentaje hoja (%)	Volumen de agua (gal)	Relación Hoja en lb. : Agua en gl.
634	402	63.4	180	2.23 = 1.00
644	422	65.5	180	2.34 = 1.00
150	103	68.7	40	2.57 = 1.00
150	88	58.7	34	2.58 = 1.00

Cuadro 3

5- Fermentación

En la fermentación es importante el tiempo de remojo de la hoja en agua, si sólo se utiliza hoja con ramas secundarias (sin tallo grueso). El tiempo puede ser de 16 horas mínimo, suficiente para

que se libere el indoxilo en una forma mas eficiente. Se debe tomar en cuenta también el



tipo de hoja y la especie. Si la hoja es de invierno se puede utilizar menor tiempo (10 a 12 horas). Sin

embargo, se debe evitar que la fermentación se prolongue, porque esta genera descomposición del líquido (se detecta con el olor y una capa blanquecina en la superficie) que puede perjudicar la calidad y calidad del colorante.

Para aprovechar los recursos en esta etapa del proceso, tanto las pilas del obraje como los barriles o tanques se localizan cerca de la fuente de agua (pozos, nacimientos o red de agua) y de los cultivos de la planta para evitar también el maltrato de la hoja.

6- Oxigenación

Esta es una de las etapas más determinantes para la formación de las partículas de afil.

Este proceso se le conoce como aireación y consiste en poner en contacto íntimo el

Líquido resultante de la maceración con el aire, con el propósito de modificar las concentraciones

de las sustancias contenidas en ella. Este fenómeno se explica ampliamente en el anexo 1.

Tomando en cuenta la relación que debe tener el área de contacto entre la fase gaseosa y la fase líquida, la pila de oxigenación debe tener una superficie mayor que la de fermentación y reducir la altura del agua. Por esta razón se ha diseñado una pila con dimensiones más grandes para un procesamiento de 284 galones de agua.

Esto facilita la oxigenación. Se proponen dos métodos de aireación

a) Manual, para obraje (pila), se recomienda utilizar una paleta con un guacal perforado en el extremo con agujeros de $\frac{1}{4}$ pulg. de diámetro a $\frac{1}{2}$ pulg. entre ellos.



El guacal no debe tener un diámetro mayor de 20 cm. Puede ser de material plástico o aluminio. El diseño se seleccionó después de ensayar diferentes prototipos. Al analizar el tipo de movimiento en el agua y el esfuerzo del trabajador, se comprobó que la mejor opción es el guacal perforado (ver fotografías). Para oxigenación en barril, se recomienda combinar con pila para poder hacerlo manualmente con paleta.



Fig.24 Muestras de paletas



Fig. 25 prueba con paleta seleccionada

- b) Mecánico. Para este proceso se recomienda utilizar tubería de PVC de $\frac{1}{2}$ pulg. de diámetro y duchas de plástico como dispersores para pila y barriles respectivamente. Este proceso requiere de un compresor que, en el caso de barriles, puede ser de baja capacidad; en el caso de las pilas, se necesita mayor capacidad(ver cuadro 4).

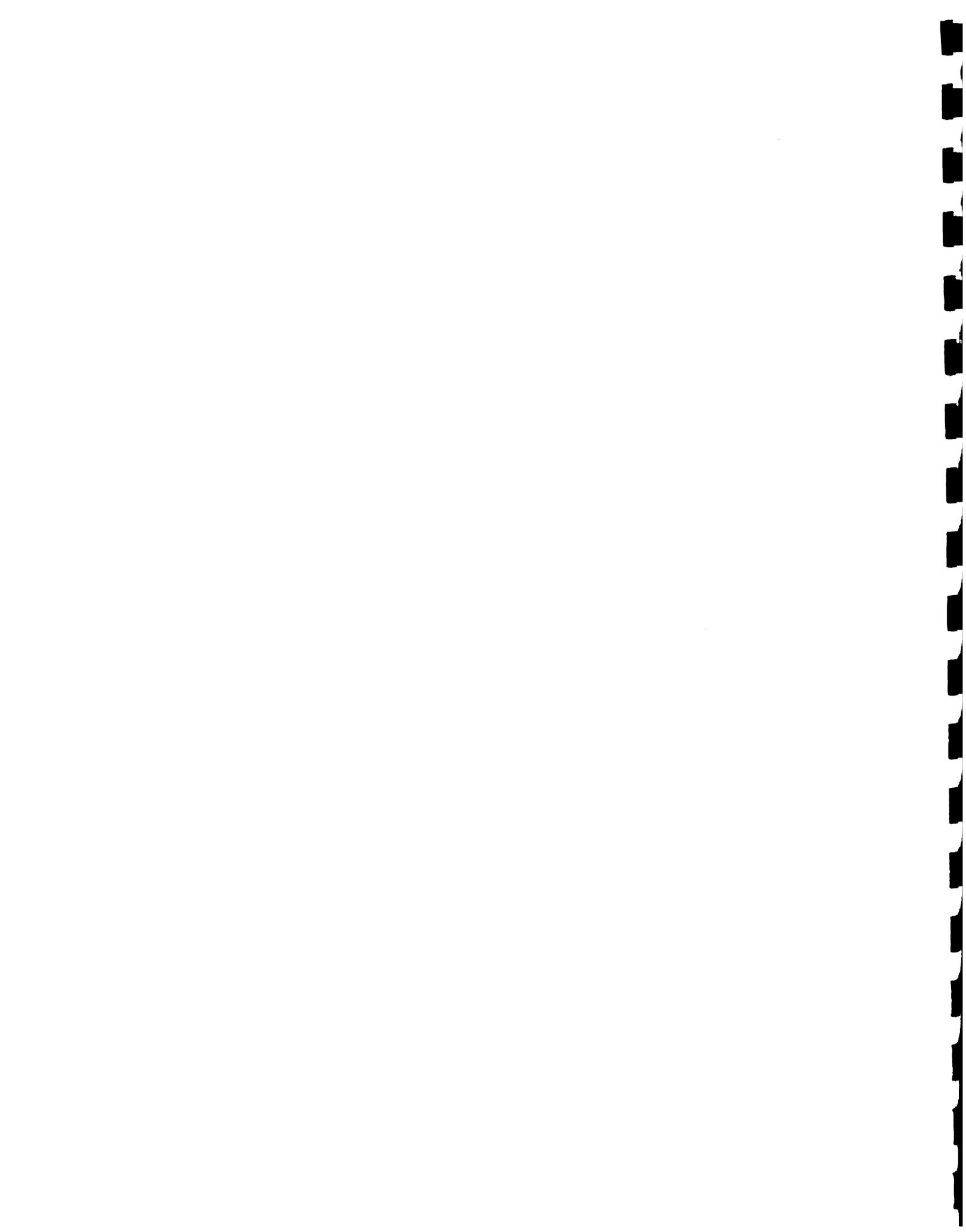


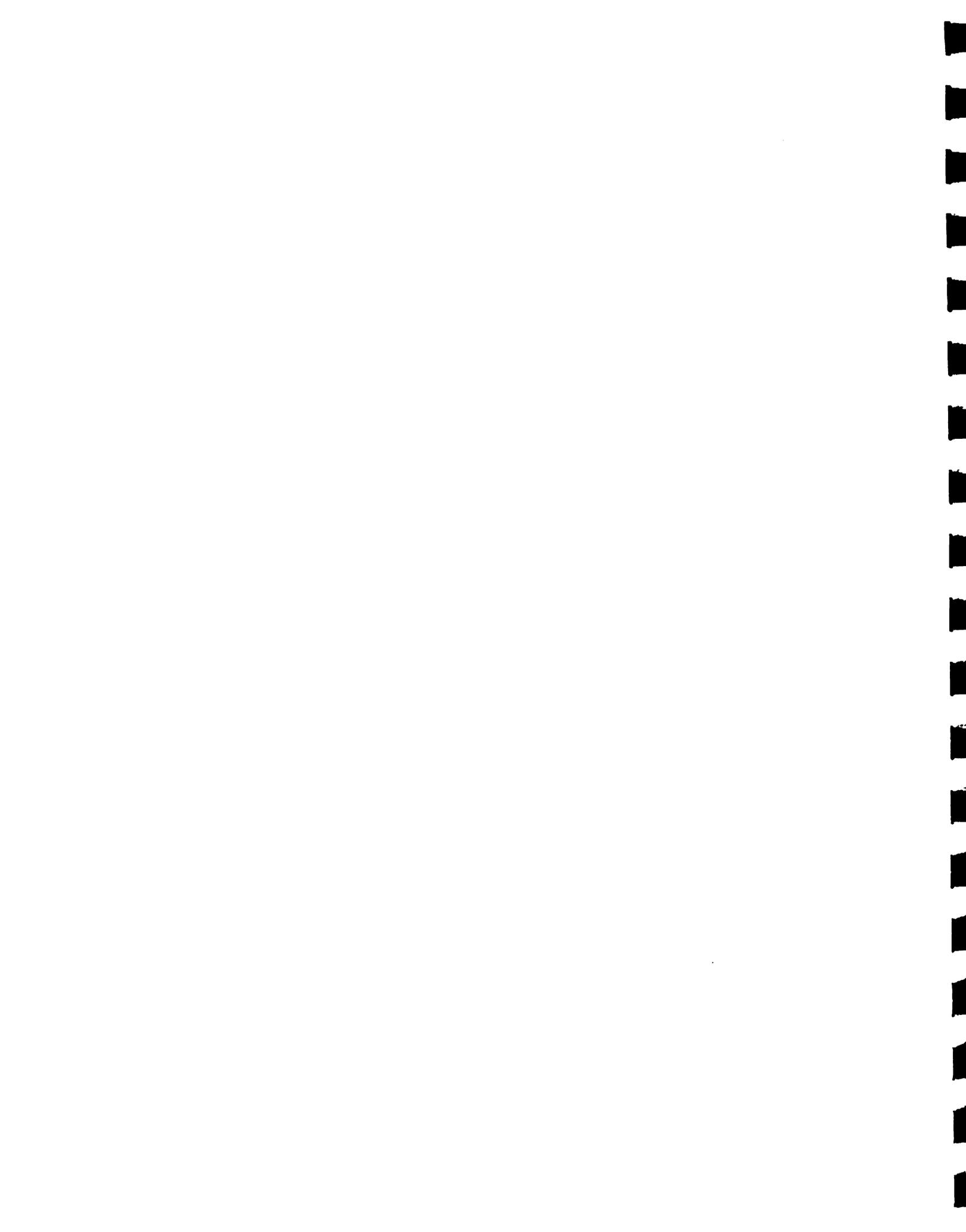


Fig. 26, 27 Modelos de dispersores para pila (forma de espinazo) y barril (duchas)



Fig.28,29 Pruebas con dispersores en pila y en barril

El siguiente cuadro muestra las presiones según la altura del líquido, el número de probables agujeros 1/64 pulg. en la tubería en forma de espinazo, el caudal de aire que demanda, la presión y la potencia del compresor que se requerirá para la oxigenación.



Producción de hoja diario (lb)	Altura del líquido (mt)	Número de agujeros de 1/64 (pulg)	Presión del aire (psi)	Caudal de aire (cfm)	Potencia de compresor (Hp)
119 a 238	0.55	120	20	14.28	5
238 a 357	0.76	120	30	18.72	7.5
357 a 595	0.76	150	30	23.40	10

Cuadro 4

cfm : pies cúbicos por minuto

7- Sedimentación

Después de que se ha llegado al punto en la oxigenación donde se han generado las partículas de indigotina se debe dejar en reposo el agua durante 16 a 18 horas el tiempo necesario para que las partículas (tiempo de retención) se asienten , se junten y se compacten para formar la interfase liquido-sólido(ver anexo 1). Para acelerar la sedimentación se recomienda utilizar la teoría de diseño de un sedimentador de flujo laminar a alta tasa. En el caso del obraje, el fondo de la pila será inclinado y en un extremo de la pila se localizará el recolector de sedimento (figura 31). En el proceso de barriles se recomienda construir un tanque con fondo cónico (figura 32) .

Según los datos recolectados en ensayos realizados en el campo (tanque en San Miguel), se observó que a las 2 ½ horas en el visor se identificaba el nivel de asentamiento o sedimento, pero en la parte superior se movían partículas pequeñas, por lo que requiere mayor tiempo de retención.



Para aumentar la velocidad de asentamiento de las partículas pequeñas se debe reducir la profundidad del agua. Por lo tanto se recomienda hacer el primer drenaje a las 4 horas, de la parte superior del agua hasta el nivel donde ésta se observe de un color amarillo. El visor en la fotografía siguiente muestra dicha consideración:



Fig.30 Visor que muestra diferentes colores liquido en sedimentación



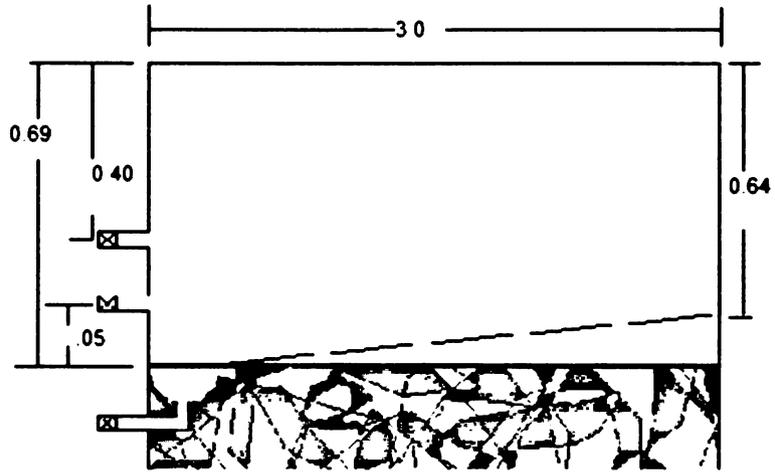
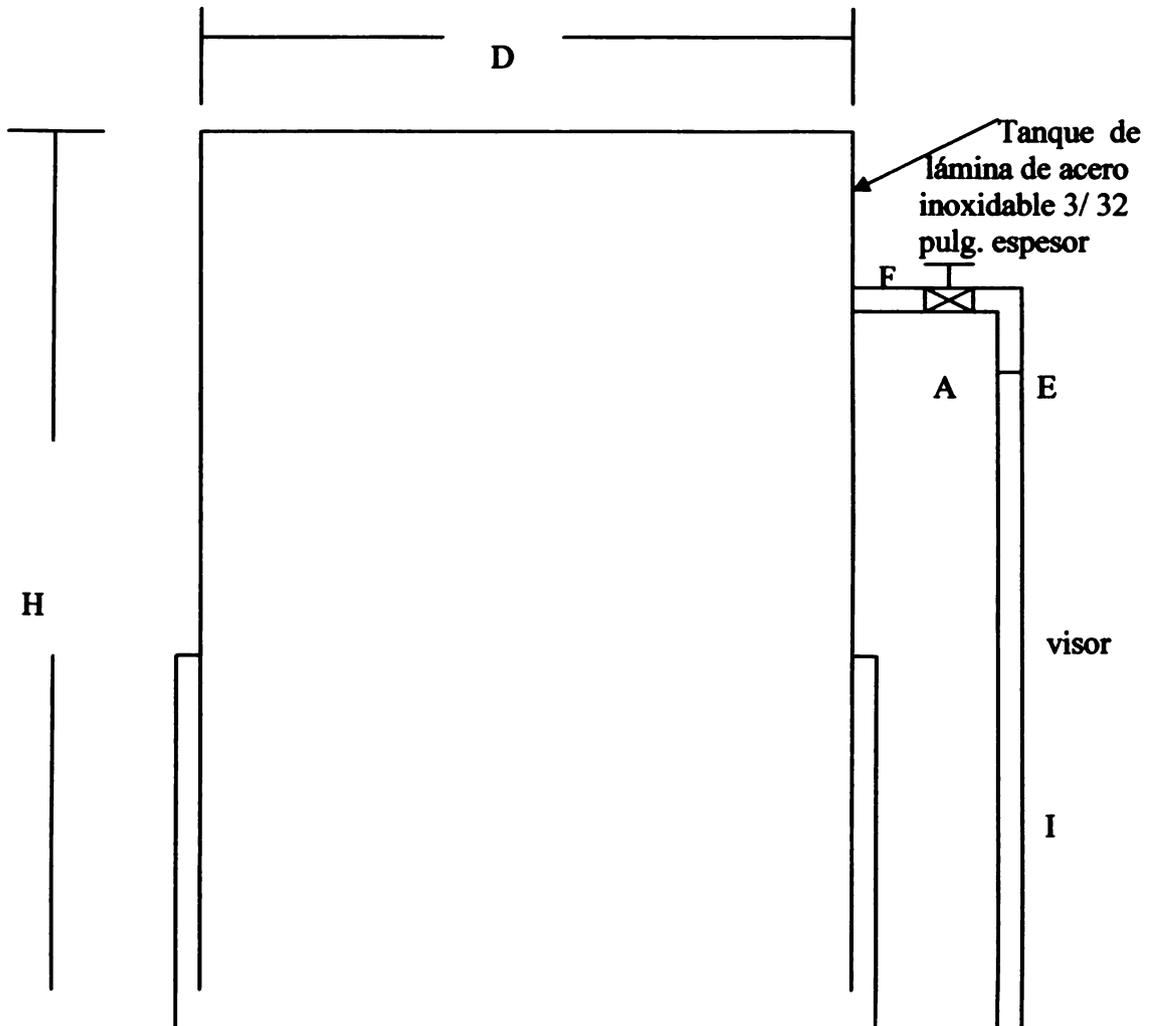


fig. 31 Esquema de pila de oxigenación y sedimentación





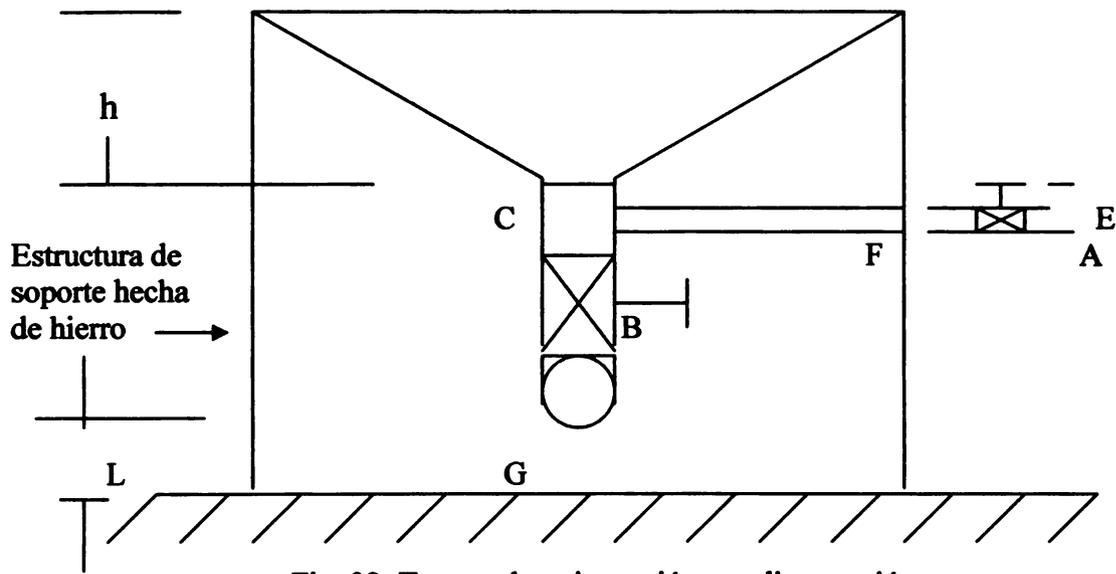


Fig. 32. Tanque de oxigenación y sedimentación

8. Extracción del Sedimento

Antes de recolectar el sedimento, se deberá, primero realizar el drenaje del agua, a través de válvulas y tubos de 2 pulgadas de diámetro a diferentes alturas en la pila del obraje correspondiente a la pila de sedimentación o en el tanque de sedimentación

(Ver fotografía de San Miguel). En el caso de las pilas que no tengan tubos y válvulas se puede hacer superficial por medio de un sifón observando el color del agua y la altura que se va drenando. Debe evitarse hacer turbulencia para drenar el sedimento. Una vez se ha drenado el agua se procede a sacar la pasta sedimentada por la válvula inferior de la pila y en cubetas se traslada inmediatamente en los tendales para iniciar la siguiente etapa del proceso.





Fig.33 Recolección de sedimento

Fig. 34 colocación en tendales

Se debe construir para el agua residual una fosa para depositarla (2) La relación promedio de agua oxigenada-sedimento oscila entre 18% al 20% .

9. Drenaje de Agua y Sedimentación en Manta

Consideraremos esta etapa como un proceso simultáneo de sedimentación y drenaje del agua. Para acelerar esta etapa y basándonos siempre en la teoría de sedimentación se recomienda modificar los tendales para que la extracción del agua sea mas rápida y la recolección del sedimento en las mantas sea más eficiente. Ver los esquemas siguientes:



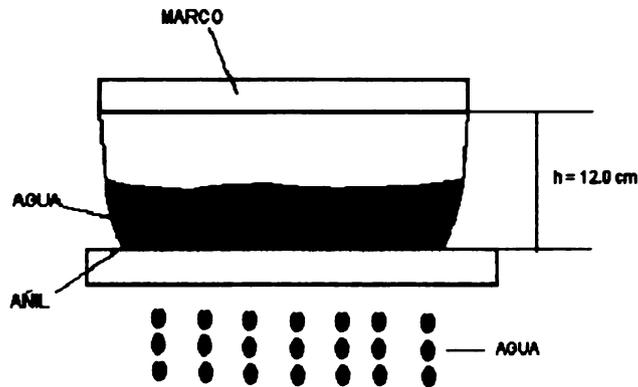
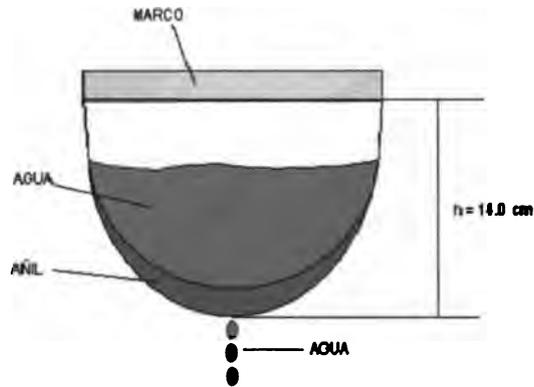


Fig.35 Ilustración de filtración y sedimentación mejorada

Este proceso consiste en drenar el agua por medio de una filtración, pero el fenómeno que sucede es el de sedimentación en una manta con partículas que requieren de retención y que se han mezclado con el agua en el momento de la sedimentación del líquido que fue oxigenado.

Para reducir el tiempo se recomienda que se construya un tendal con diferentes tramos paralelos, en el cual cada tramo tenga una capacidad de 5 galones.



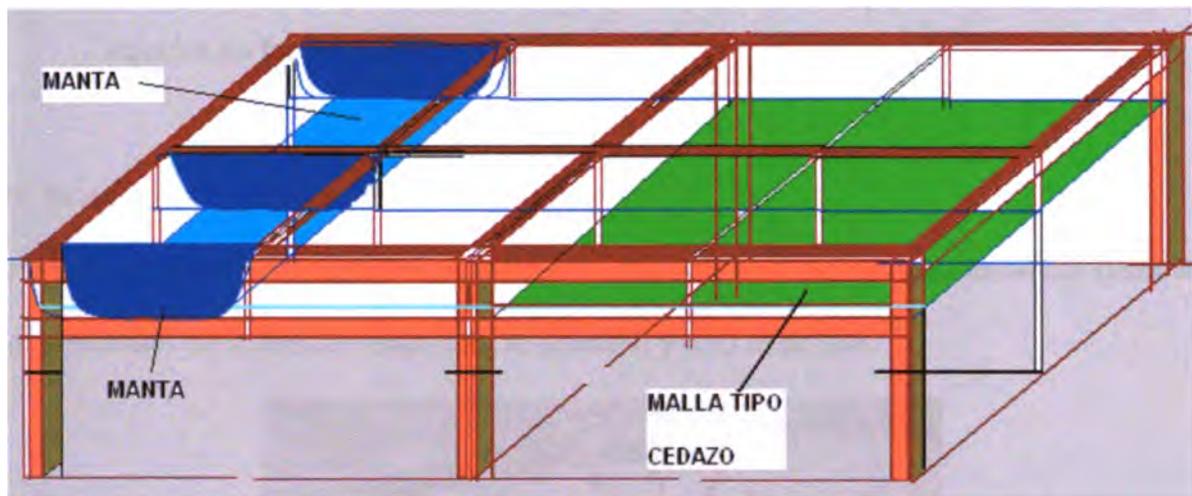


Fig. 36. Diagrama de tendal

Este proceso se realiza de la manera siguiente:

- a) En la primera línea de tendales se debe colocar el sedimento en un orden controlado del primero al último. Siempre se debe colocar un guacal debajo de la manta para recolectar la primera agua cuando se vierte el sedimento (partículas de afil se filtran al principio). El vertido debe ser suave y lento.
- b) Después de una hora en reposo, se debe comenzar en el mismo orden que se describió anteriormente. Pasando a la otra fila de tendales con sumo cuidado el agua superficial que está en el primer tendal, se puede comenzar inmediatamente a recolectar el sedimento que ha quedado fuera de la superficie del agua y colocarlo en las bandejas de secado.
- c) El proceso anterior se va repitiendo después de dos horas con los tendales que van quedando desocupados y de esa manera se puede reducir el tiempo de 22 horas a 6 horas.



- d) A las mantas se les puede colocar ojetes metálicos en las esquinas para facilitar la sujeción en forma más rápida.

9. Secado

Para el secado se debe depositar el sedimento (pasta de añil) en bandejas metálicas (lámina galvanizada) de 0.86 m de largo 4.40 m de ancho y 0.13 m de alto.



Fig.37 Colocación de sedimento en bandejas

Estas bandejas deben colocarse en el colector solar que debe construirse de madera de conacaste o cedro (no es recomendable usar madera de pino). El colector debe estar forrado en el interior con “papel de aluminio”, en la parte superior del colector debe colocarse un vidrio de 2 a 3 mm de espesor; a los lados deben perforarse agujeros para evitar la condensación del agua. El exterior del colector debe ser pintado de negro para evitar la reflexión del calor, El colector debe exponerse al sol durante todo el día, evítese que de sombra sobre el colector. En caso de sombra sobre el colector solar este debe moverse hacia una zona expuesta a la radiación directa del sol. La temperatura que alcanza el colector oscila entre 50 y 76 °C. en un período de 3 días la pasta se puede moler y para aumentar el secado se puede colocar el polvo un día más en el colector.





Fig.38 Ilustración de un modelo de colector

Nota: Cuando la pasta se va secando debe cortarse en trocitos para acelerar el proceso de secado y la pasta no se debe depositar con mucha altura para que el secado sea más rápido.

10 Molido

El molido de la pasta ya seca debe hacerse en 2 etapas. Un premolido cuando la pasta tiene 3 días de secado y después de un día de nuevo secado se puede moler nuevamente.

Se debe utilizar un molino manual de nixtamal.

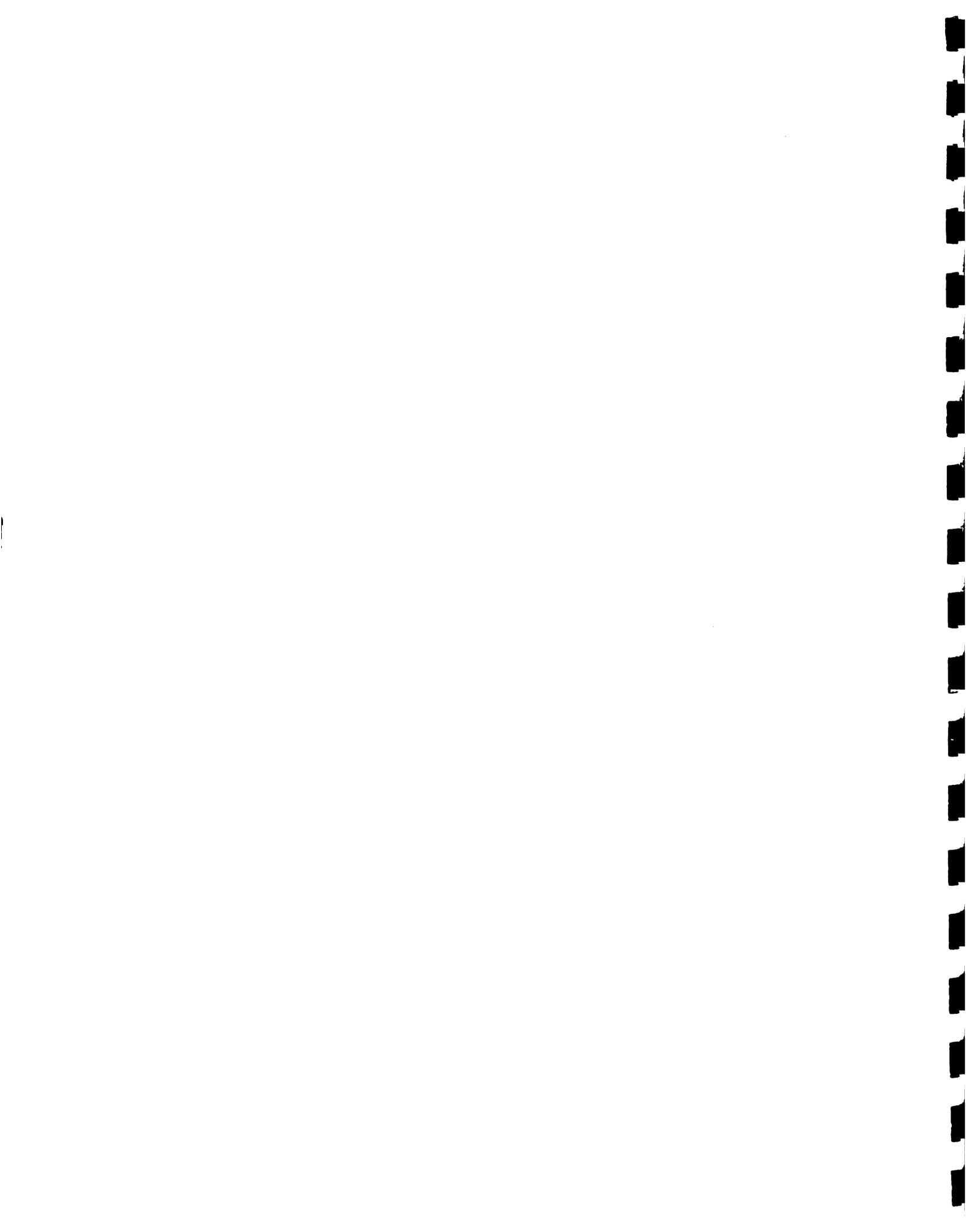




Fig.39 Molido de añil

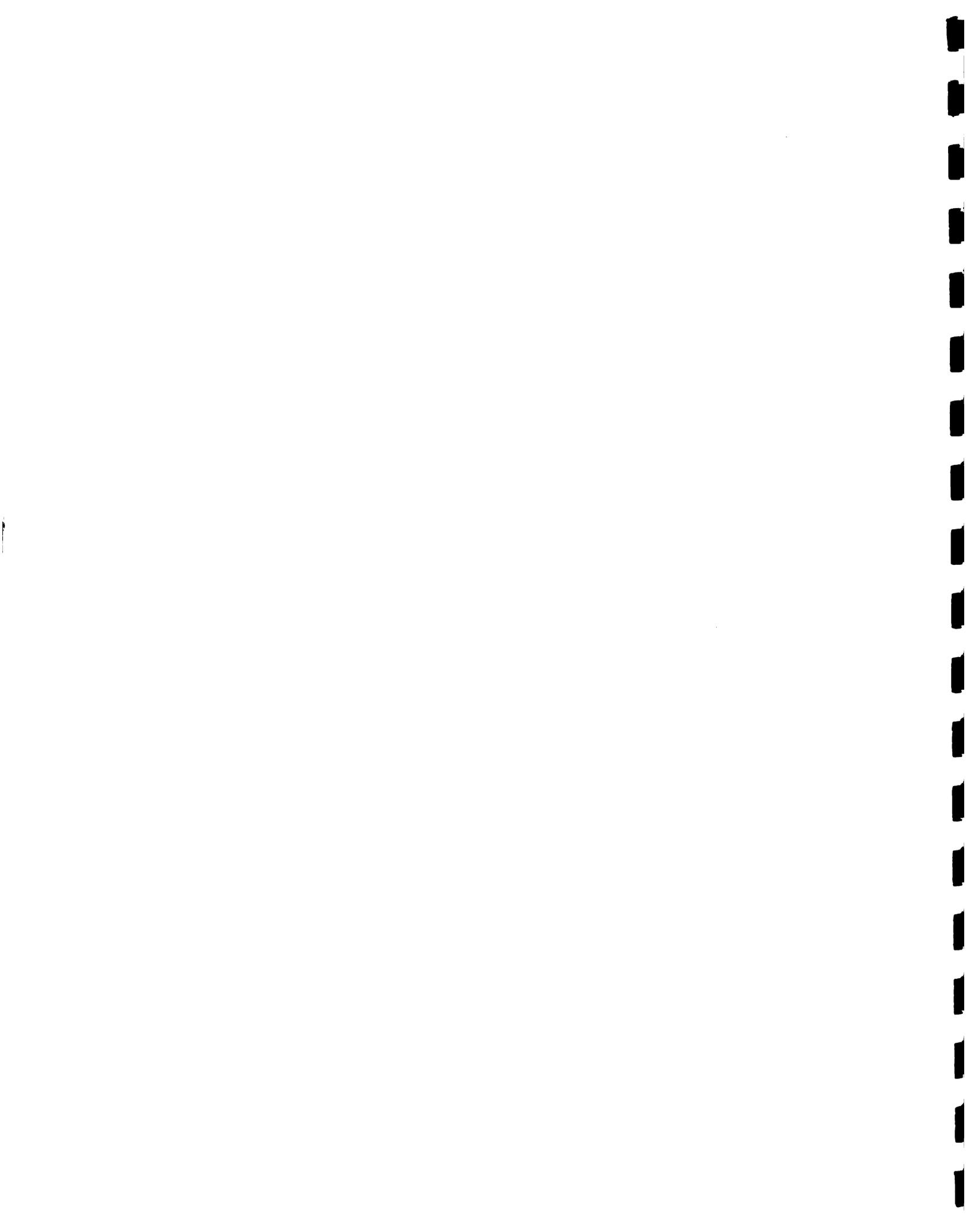
11 Embolsado

Después del molido final, se debe colocar el polvo de añil en una bolsa plástica debidamente identificada con una viñeta que contenga datos como: número de producción, especies de planta, peso, porcentaje de indigotina.

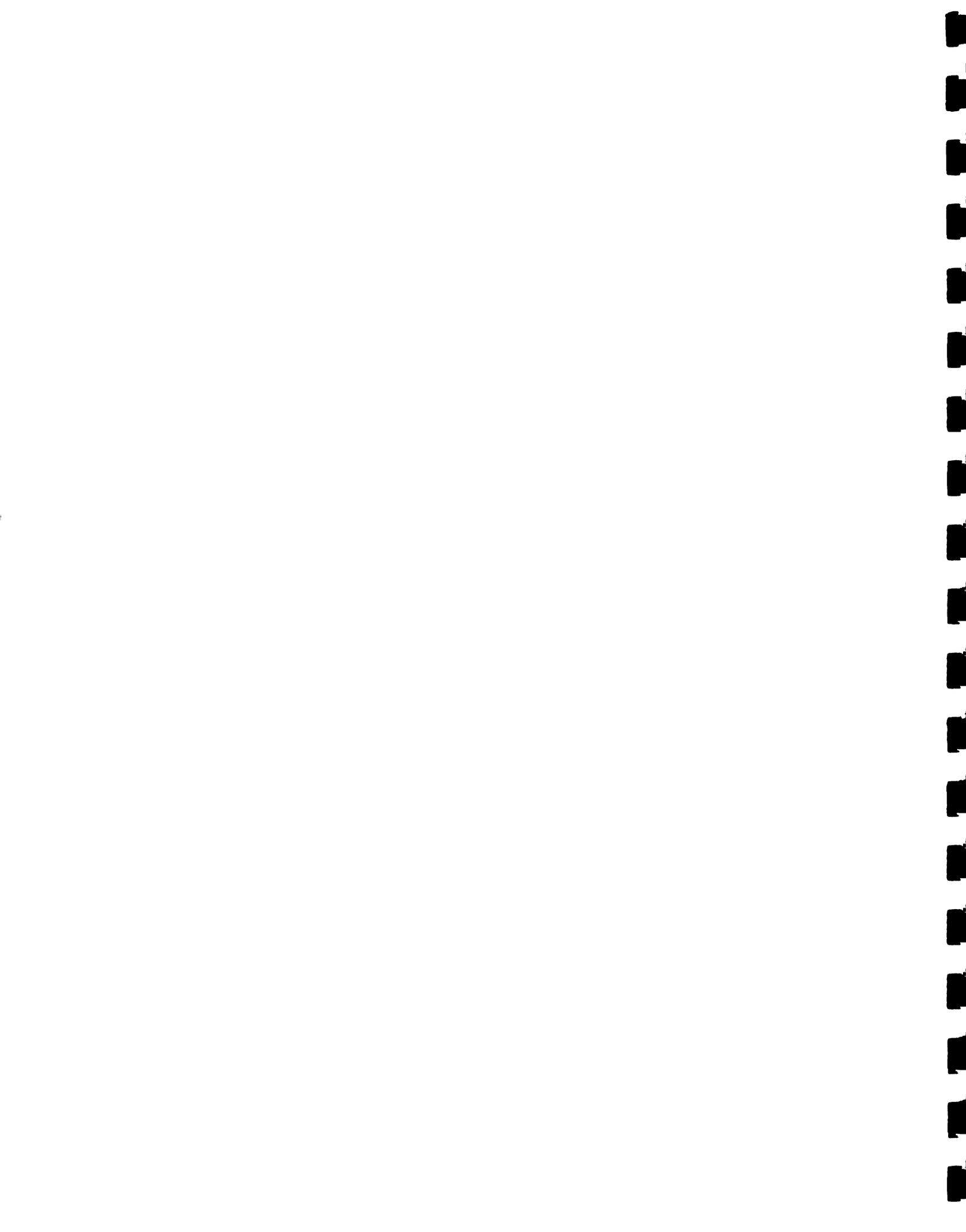
F. VARIABLES, PARÁMETROS Y DATOS QUE SE DEBEN REGISTRAR Y CONTROLAR DURANTE EL PROCESO.

- 1. Corte de biomasa**
 - Especies de la planta y edad
 - Lote de origen
 - Numero de corte por año
 - Fecha , Hora y tiempo de corte
 - Peso total y tiempo de pesado
 - Peso solo hoja
 - Mano de obra

- 2. Carga de biomasa y agua para fermentación**
 - Tiempo de colocación biomasa
 - Volumen de agua
 - Tiempo de llenado de agua



- Relación agua – biomasa
 - PH
3. Fermentación
 - Hora de inicio y de finalización
 - Tiempo de fermentación
 - pH inicial y pH final
 - Temperatura inicial y final
 - Temperatura ambiente inicial y final
 4. Oxigenación
 - Volumen de líquido
 - Tiempo de llenado
 - Hora de inicio y final
 - Tiempo de duración
 - PH inicial y final
 - Método utilizado
 - Temperatura inicial y final
 - Mano de obra
 - Sedimentación
 - Volumen sedimentado
 - Hora de inicio y final
 - Tiempo de sedimentación
 - PH
 - Tiempo de drenaje
 - Tiempo de recolección de sedimento
 - Mano de obra
 - Filtrado
 - Hora de inicio y final del filtrado
 - Tiempo de duración
 - Tiempo de colocación en bandejas
 - Mano de obra
 3. Secado
 - Hora y fecha de inicio y final de secado
 - Tiempo de duración de secado
 - Color inicial y final
 - Olor
 - Mano de obra
 5. Molido
 - Cantidad de polvo obtenido
 - Rendimiento de biomasa procesada (lb. polvo / lb. biomasa)
 - Mano de obra
 - Porcentaje de índigotina.
 6. Otras actividades



Descarga y procesado de rastrojo

- Mano de obra

Preparación de equipos

- Mano de obra
- Tiempo

G. RECOMENDACIONES DE HIGIENE Y SEGURIDAD OCUPACIONAL

Estas recomendaciones se hacen para mejorar las condiciones de los trabajadores del añil durante su proceso de obtención. Se dan recomendaciones por etapas del proceso:

1. Condiciones físicas del trabajador:

No debe ser muy sensible de la piel, no debe ser alérgico al jiquilite, hacer de preferencia un pre chequeo medico laboral.

2. Corte de planta:

Deben utilizar protección personal para las manos, guantes de cuero ; para la cabeza sombrero que los proteja del sol ; para el cuerpo camisa manga larga y pantalón ; para los pies botas; para la carga de manojos no debe exceder la carga de 50 libras para las mujeres y de 75 libras para los hombres.

3. Separación de tallo y carga de pila

Utilizar guantes de cuero para protección de las manos en la manipulación de las ramas.

4. Oxigenación, Recolección de sedimento y filtrado

Utilizar guantes de hule para no tener contacto directo con el añil puede ocasionar irritaciones de la piel.

H. FORMAS DE REGISTRO Y CONTROL

A continuación, se presentan diferentes formas de registro y control:



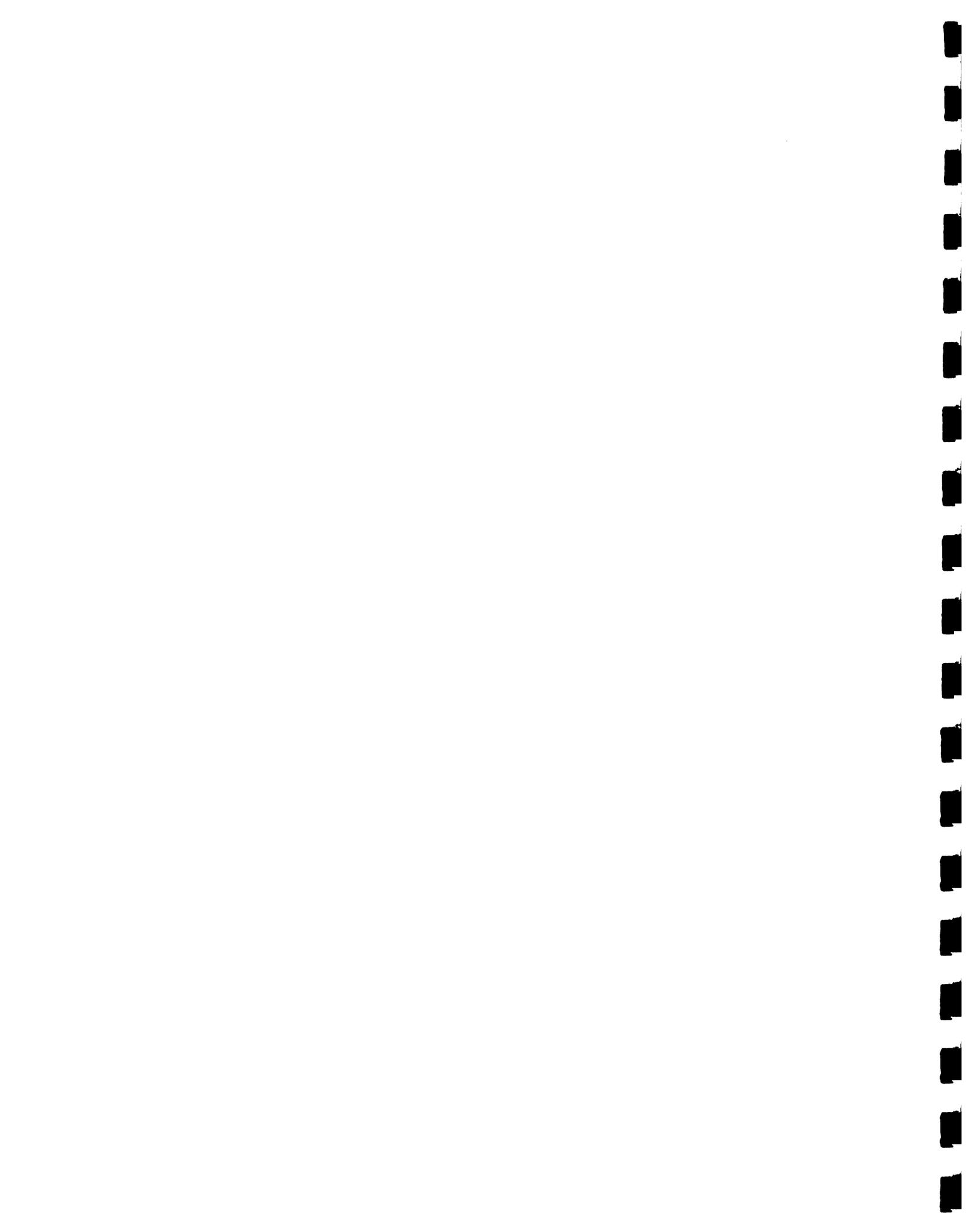
HOJA DE RECOLECCION DE DATOS PRODUCCIÓN DE AÑIL
LUGAR _____

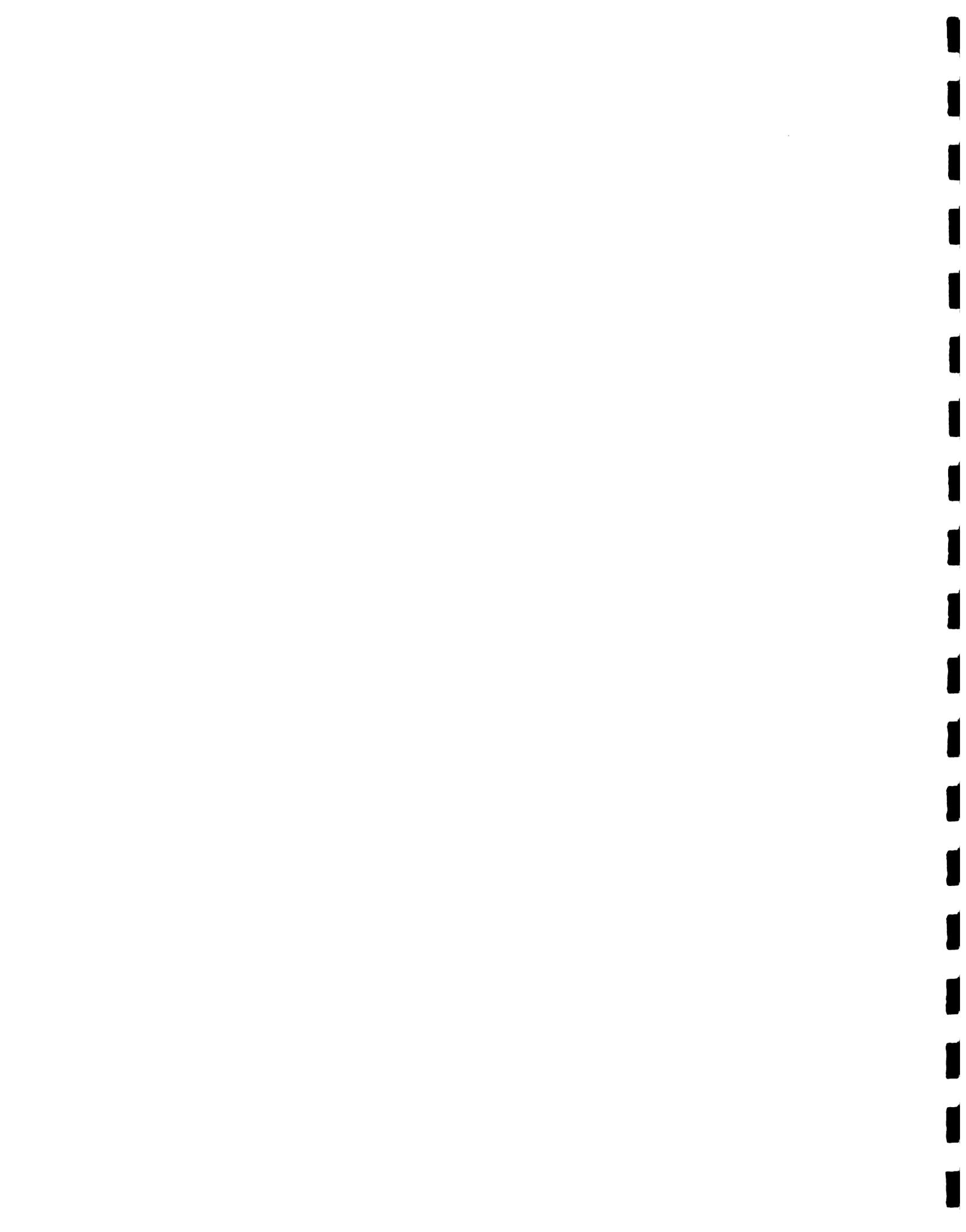
Especie _____ No. de lote _____ No. de cosecha _____ Edad de la planta _____
Proceso: Pilas () Tanques () Fecha inicio _____ Fecha final _____

No.	Concepto	Unidad	Mano de obra	Observaciones
CORTE DE HOJA				
1	Tiempo de corte	Hrs.		
2	Tiempo de traslado	Hrs.		
3	Tiempo de pesado	Hrs.		
4	Peso de hoja	Lb.		
PREPARACIÓN DE CARGA				
1	Tiempo de colocación de hoja	Hrs.		
2	Preparación de equipo de bombeo	Hrs.		
3	Tiempo de llenado de agua	Hrs.		
4	Volumen de agua	Gal.		
FERMENTACIÓN				
1	Tiempo de fermentación	Hrs.		
2	PH inicial			
3	PH final			
4	Temperatura inicial	°C		
5	Temperatura final	°C		
6	Temperatura ambiente	°C		
OXIDACIÓN				
1	Volumen	Gal.		
2	Tiempo de oxidación	Hrs.		
3	Temperatura inicial	°C		
4	Temperatura final	°C		
5	PH inicial			
6	PH final			
7	Tiempo de llenado pila de oxigenación	Hrs.		
SEDIMENTACIÓN				
1	Volumen total	Gal.		
2	Volumen sedimentado	Gal.		
3	Tiempo de sedimentación	Hrs.		
4	PH final			
5	Tiempo de drenaje	Hrs.		
6	Tiempo de recolección de sedimento	Hrs.		
SECADO				
1	Tiempo de colocación en bandejas	Hrs.		
2	Tiempo de secado	Hrs.		
3	Color inicial			
4	Color final			

HOJA RESUMEN

Corte	Porcentaje hoja-tallo	%	
Carga	Relación biomasa- agua	Lb/gal	
Fermentación	Adición de glucosa	gr	
	Adición de otro elemento		
	Hora inicio y final	Hrs.	
Oxidación	Tipo de oxigenación		
	Adición de químico		
	Hora de inicio y final	Hrs.	
Sedimentación	Hora de inicio y final	Hrs.	
	Volumen sedimentado	Gal.	
Secado	Hora inicial y final	Hrs.	
	Cantidad de añil obtenido	Lbs.	
	% de indigotina	%	





BIBLIOGRAFÍA

Yoshiko Minami , Osamu Nishimura, Ikuko Hara-Nishimura, Mikio Nishimura and Hiroshi Matsubara.

Tissue and Intracellular Localization of Indican and the Purification and Characterization of Indican Synthase from Indigo Plants
Plant Cell Physiol. 41(2):218-225 (año 2000)

Emily Wu, Kittinan Komolpis & Henry Y. Wang_

Chemical extraction of indigo from *Indigofera tinctoria* while attaining biological integrity

Biotechnology techniques 13: 567-569, 1999

Kinetics of Fermentation of *Indigofera tinctoria*

Paisan Kongkachuichay, Skowrath Hirunkitmonkon , and Arunsiri Chitangkoon

LAMECA- Del Tabaco al Arroz, los cultivos secundarios en Guadalupe 21/03/2003

www.perso.wanadoo.fr/lameca/dossiers/tabac_au_riz/indigo_esp.htm

Skog, Sandra.

“The History of Indigo” 23/03/2003.

www.artloft2000.com/history_of_indigo.htm

Ross, Gary Noel.

“Mysterious Dye – Indigo” 26/03/2003



www.leeric.lsu.edu/le/special/indigo.htm

Seilnacht, T.

“INDIGO” 21/03/2003

www.seilnacht.tuttlingen.com/Lexikon/Indigo.htm

Guía Técnica para el Cultivo del Añil. 03/04/2003

www.agronegocios.gov.sv/Media/Otr2AniText.htm

Chemistry of Natural and synthetic Indigo dyes.

Vilarem, Gérard.

“Plant Dyes: Production, Extraction and Applications, An Experience in The South-West of France”

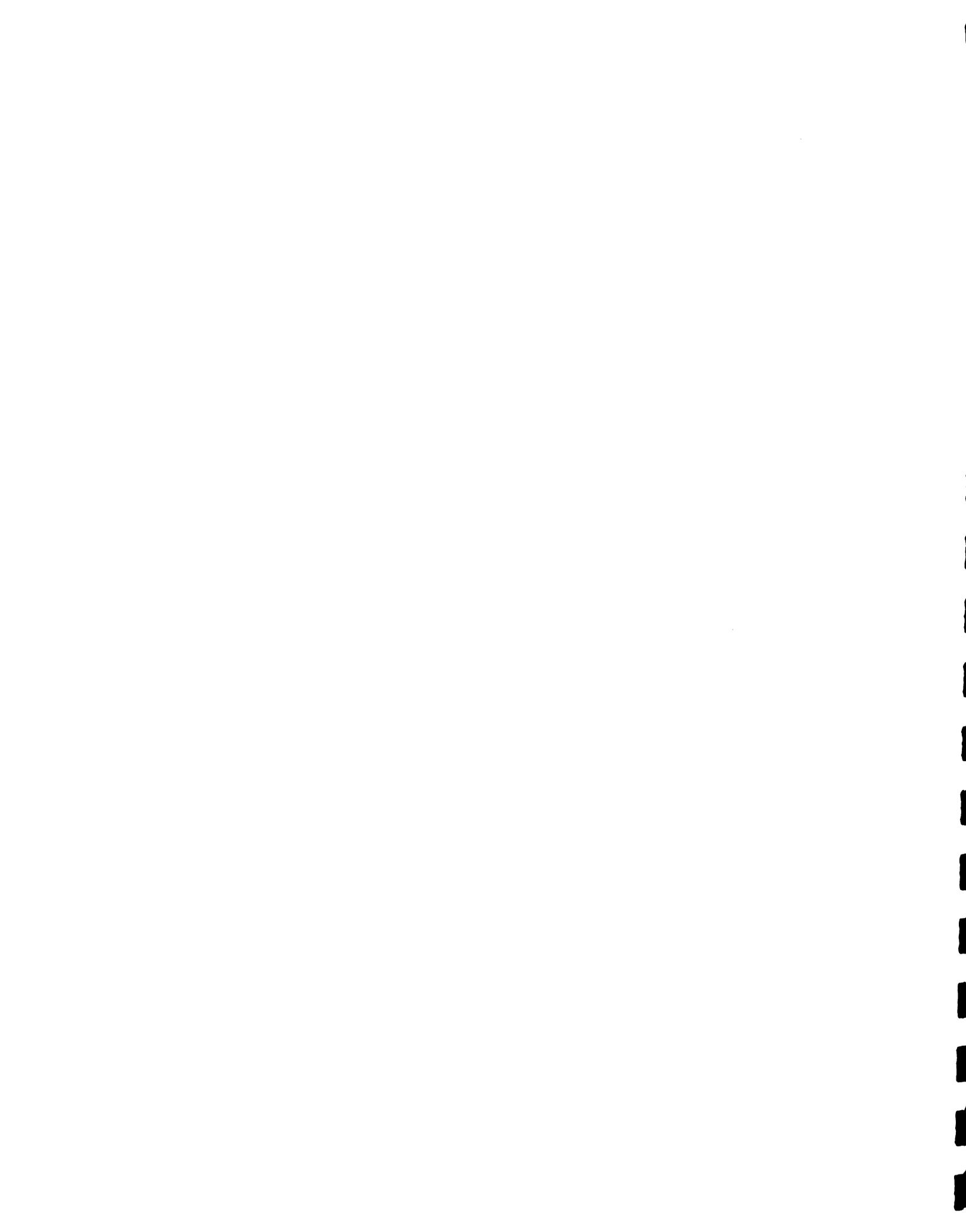
2000

Gallardo, Roberto

“El obraje de Añil de San Andrés”

Grupo Editorial Siquisiri S.A. de C.V.

Mexico. 1997



ANEXOS



ANEXO 1

TEORÍA DE OXIGENACIÓN Y SEDIMENTACIÓN

1. ETAPA DE OXIGENACIÓN (AIREACIÓN)

Tomado de Potabilización del agua, Jairo Alberto Romero Rojas, 3ra Ed., Alfaomega, 1999

Entenderemos por aireación al proceso mediante el cual el líquido de nuestro interés se pone en contacto íntimo con el aire con el propósito de modificar las concentraciones de las sustancias contenidas en ella. En resumen, es el proceso de introducir aire a la solución de interés.

De acuerdo a la primera ley de difusión de Fick y la teoría de la capa líquida estacionaria, la tasa de cambio en la concentración de una sustancia volátil se expresa por la ecuación:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{-KA(C_s - C)}{V}$$

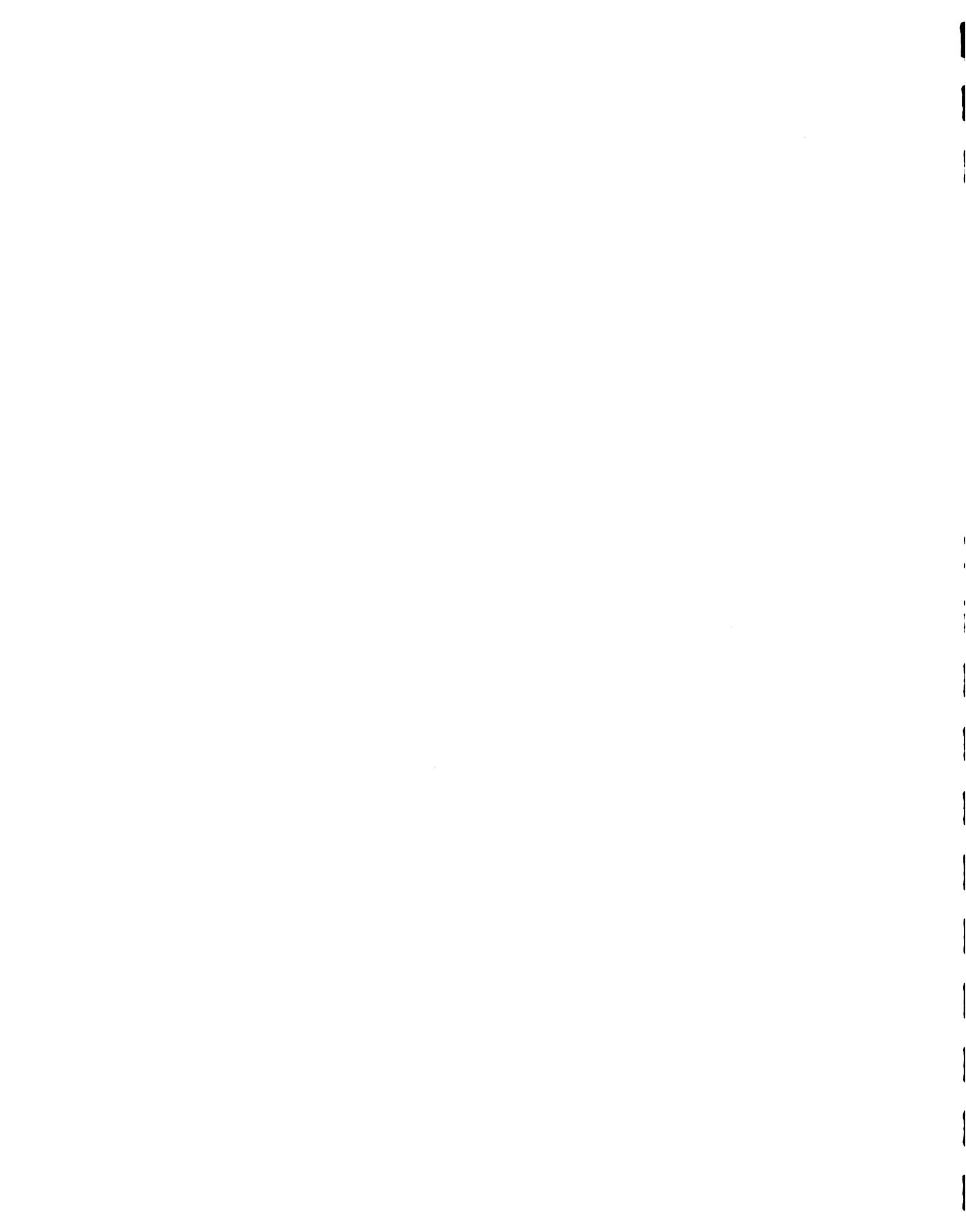
donde:

dC/dt = tasa de cambio en la concentración, mg/L.s

K = coeficiente de transferencia de la sustancia volátil, m/s

A = área de contacto entre la fase gaseosa y la fase líquida, m²

V = Volumen de la fase líquida, m³



C_s = Concentración de saturación del gas en el líquido, mg/L

C = Concentración del gas o sustancia volátil en el líquido, mg/L

La ecuación anterior indica que la tasa de cambio en la concentración del gas, durante la aireación, es directamente proporcional al área de contacto A , al déficit de saturación y al coeficiente de transferencia, e inversamente proporcional al volumen del líquido expuesto. Por lo tanto, cualquier factor que afecte estos parámetros afecta la tasa de transferencia del gas.

Para el caso de los sistemas de oxigenación en los obrajes, debemos utilizar la solución de la ecuación anterior, correspondiente a la existencia de absorción de gases, o sea cuando la concentración del gas aumenta con el tiempo o período de aireación:

$$C = C_s - (C_s - C_0)e^{-KA/V}$$

donde:

C = Concentración del gas para el tiempo t , mg/L

C_0 = Concentración inicial del gas en el líquido cuando $t=0$, mg/L

t = tiempo de aireación, s

K = coeficiente de transferencia de la sustancia volátil, m/s

A = área de contacto entre la fase gaseosa y la fase líquida, m^2

V = Volumen de la fase líquida, m^3

C_s = Concentración de saturación del gas en el líquido, mg/L

En este caso la absorción del gas disminuye a medida que la concentración aumenta.



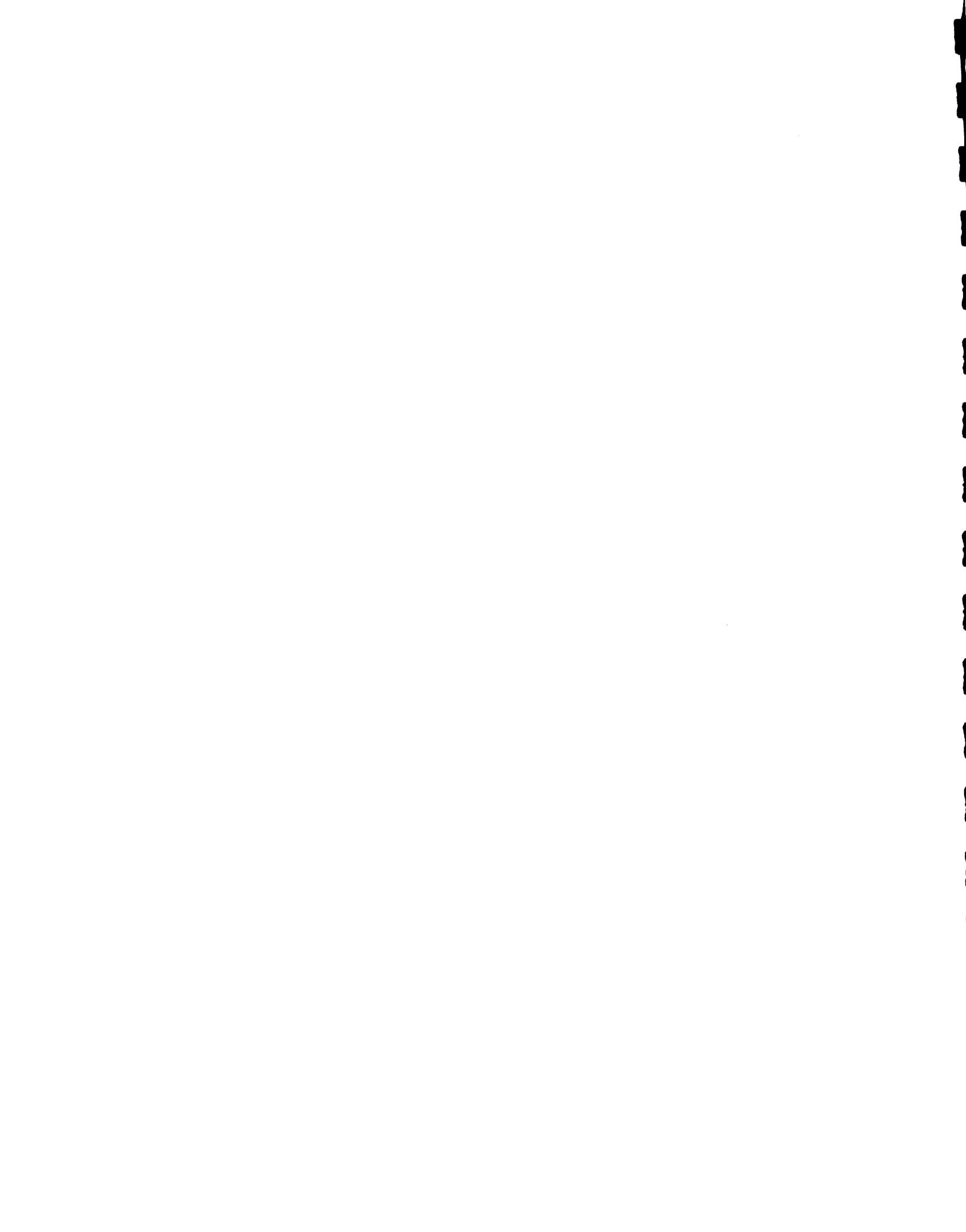
Esta ecuación es conocida como ecuación de Lewis y Whitman e indica:

- La tasa de transferencia del gas para cualquier tiempo t es proporcional a la diferencia entre la concentración de saturación C_s y la concentración C del gas en el agua.
- La tasa de transferencia es directamente proporcional a la relación de área de contacto entre la fase gaseosa y la fase líquida con el volumen de la fase líquida, A/V .
- La tasa de transferencia es directamente proporcional al coeficiente de transferencia del gas, K .
- La cantidad de gas transferido es mayor a medida que aumenta el tiempo de aireación.
- La temperatura y la presión son factores importantes porque afectan los valores de C_s , de la difusividad y el coeficiente de transferencia del gas, K

En resumen, los factores que se deben tomar en cuenta en el diseño de aireadores son: el tiempo de aireación, la relación A/V y una ventilación adecuada.

2. ETAPA DE SEDIMENTACIÓN

La sedimentación consiste en la separación de los sólidos suspendidos en el líquido por asentamiento gravitacional. La velocidad de asentamiento de las partículas está determinada por su tamaño, forma y densidad, así como la naturaleza del líquido a través del cual se asientan. Al asentarse una partícula, se acelera hasta que la fuerza de arrastre de su superficie contra el líquido es igual al peso de la partícula en el fluido de suspensión (Manual del Agua, Nalco, Mc Graw Hill, Mexico 1989 pag9-3)

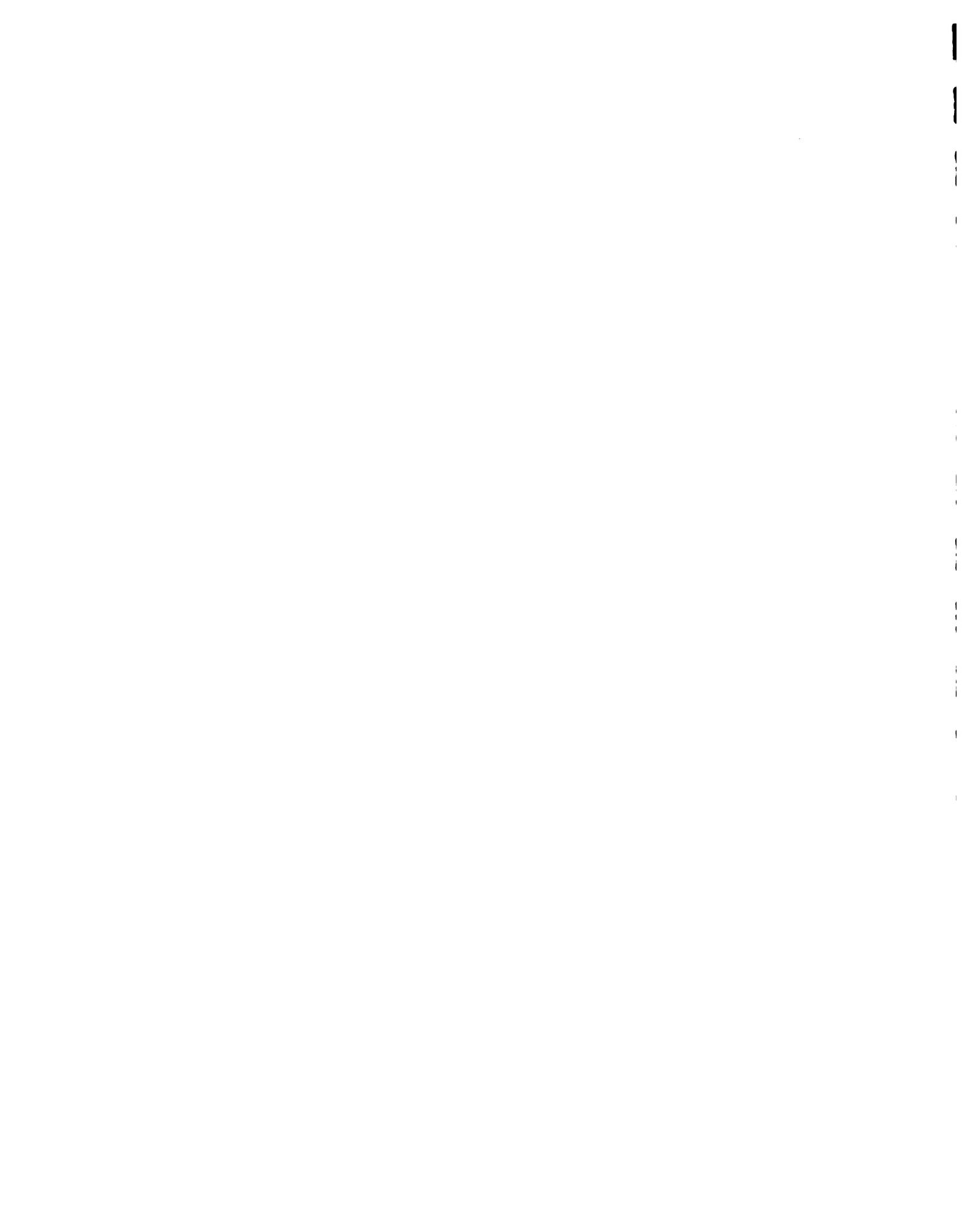


Cuando las partículas se sientan a través del líquido en caída libre, el líquido desplazado por las partículas se mueve hacia arriba y el espacio entre las partículas es tan grande que el contra flujo del líquido no interpone fricción. Cuando las partículas se aproximan al fondo del recipiente y empiezan a formar una interfase líquido/sólido, disminuye su velocidad de caída libre. Los sólidos reunidos, se compactan lentamente en un proceso llamado asentamiento impedido. En este, las partículas se encuentran tan juntas que la fricción producida por la velocidad del líquido desplazado interfiere con el movimiento de la partícula. La temperatura es un factor que influye en el asentamiento. Por ejemplo, si el líquido de trabajo es el agua, al elevar la temperatura desde 0 a 29 C se duplica la velocidad de asentamiento de una partícula dada, ya que disminuyen tanto la densidad como la viscosidad del agua. (Manual del Agua, Nalco, Mc Graw Hill, Mexico 1989 pag9-3)

Tabla 1. Modelos del proceso de sedimentación

Tipo de Sedimentación	Características de los sólidos en suspensión	Descripción del proceso
Tipo 1	Partículas discretas y aisladas en soluciones diluidas	No hay interacción entre las partículas y entre las partículas y el resto del fluido
Tipo 2	Partículas aglomerables en soluciones relativamente diluidas	Las partículas se aglomeran agrupándose en partículas de mayor tamaño
Tipo 3	Soluciones de concentración intermedia	Las partículas interfieren entre si en su descenso manteniendo posiciones estables
Tipo 4	Soluciones de alta concentración	Se forma una estructura entre las partículas que va modificándose lentamente con el tiempo

Fuente: Tomado del libro Teoría y práctica de la purificación del agua, 3ra Ed. Jorge Arboleda, Mc Graw Hill-Interamericana, Colombia 2000



El tipo de sedimentación que tiene las partículas de afil se puede clasificar como un intermedio entre sedimentación tipo 2 y sedimentación tipo 3, la tabla 1 muestra las características de estos tipos de sedimentación. Aunque la granulometría de las partículas de afil en la solución no se ha determinado, se observan que el tamaño de estas partículas no es uniforme.

Existen interferencias en los procesos de sedimentación que no son considerados generalmente en los modelos teóricos, pero que deben tomarse en cuenta. Estos se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Interferencias de la Sedimentación

Tipo de Interferencia	Causa	Producen
Corrientes de Densidad	-Corrientes térmicas	-Cortocircuitos superficiales o cortocircuitos de fondo
	-Corrientes de concentración	-Giros de la masa de agua
Corrientes Eólicas	Vientos que impulsan la masa superficial	Desvíos del flujo superficial
Corrientes cinéticas	-Alteraciones hidráulicas en la entrada	-Flujos transversales en el tanque
	Obstrucciones en la zona de decantación	-Turbulencias que levantan las partículas asentadas
	-Alteraciones de salida	Succión de partículas

Fuente: Tomado del libro Teoría y practica de la purificación del agua, 3ra Ed. Jorge Arboleda, Mc Graw Hill-Interamericana, Colombia 2000



Tomando en consideración el tipo de sedimentación y las interferencias que presenta la sedimentación, se recomienda utilizar la teoría de diseño de un sedimentador de flujo laminar o alta tasa, la característica principal de estos equipos son:

- 1.- El fondo del sedimentador es inclinado
- 2.- La profundidad debe ser baja
- 3.- Para equipos que trabajan en forma continua se considera flujo laminar.

Según Romero Rojas (Potabilización del agua, 3ra Ed, Ediciones ALFAOMEGA,1999), los criterios de diseño son:

1. Propiedades de asentamiento de los sólidos suspendidos. Toman importancia la densidad, la temperatura y la viscosidad (como ya se ha mencionado)
2. Carga superficial o tasa de sedimentación superficial. Se expresa como el volumen dividido entre el producto del tiempo y área superficial.
3. Profundidad del sedimentador.
4. Tiempo de retención. El tiempo de retención debe ser lo suficientemente largo como para permitir el asentamiento de las partículas con velocidad de asentamiento muy baja.
5. Unidades de entrada y salida. En nuestro caso, este criterio no aplica por ser un proceso batch o por lote.
6. Velocidad Horizontal. Este criterio no aplica por las mismas razones.

