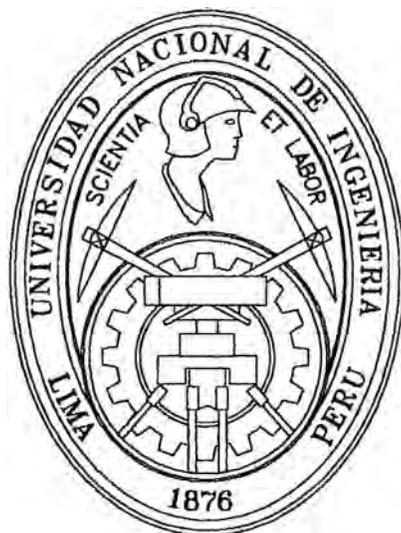


Universidad Nacional de Ingeniería
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y MANUFACTURERA



**“ESTUDIO DE LA KIWICHA (AMARANTHUS
CAUDATUS) COMO FUENTE DE COLORANTE”**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO QUÍMICO
POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE
CONOCIMIENTOS**

PRESENTADO POR:

NÉSTOR MIGUEL QUIROZ SOSA

LIMA – PERU

2002

INDICE

	Pág.
Objetivo	4
1. Introducción.....	5
2. Generalidades.....	7
2.1 Aspectos Agronómicos de la kiwicha.....	7
2.1.1 Origen.....	7
2.1.2 Clasificación botánica.....	8
2.1.3 Morfología.....	9
2.1.4 Cultivo.....	10
2.1.5 Cosecha.....	12
2.1.6 Usos.....	12
2.1.6.1 Uso de las semillas.....	12
2.1.6.2 Uso de los tallos, hojas y flores.....	13
2.1.7 Valor Nutritivo.....	14
2.2 Aspectos relacionados con el colorante.....	17
2.2.1 Conceptos químicos.....	18
2.2.1.1 Las Betacianinas.....	19

3.2	Reducción del tamaño de molienda o tamizado	26
3.3	Extracción de la materia colorante	26
3.4	Factor que influye en la extracción	27
3.5	Métodos empleados en la extracción	29
3.5.1	Extracción por maceración	29
3.5.2	Extracción por agitación mecánica	31
3.5.3	Extracción por cocción	32
3.5.4	Extracción por lixiviación.	33
3.6	Filtración	38
3.7	Purificación	39
3.8	Concentración	40
3.9	Secado	41
3.10	Descripción del diagrama de operaciones	44
3.11	Balance de masa y Energía	45
3.12	Aportes	46
4	Conclusiones y Recomendaciones.....	51
5	Bibliografía.....	52

OBJETIVO

En los últimos tiempos se ha visto necesario la utilización de colorantes de origen natural debido al incremento de residuos tóxicos en la industria de colorantes sintéticos, por este motivo, este trabajo tiene por objetivo realizar un estudio de la producción de un colorante natural, incidiendo más en las etapas del proceso : Extracción, Purificación y Secado a partir de los sépalos de la kiwicha (*Amaranthus Caudatus*).

INTRODUCCIÓN

El uso de colorantes hace al alimento más atractivo, su utilización data a partir del siglo XVIII, donde el desarrollo de procesamiento de alimentos hizo que estos aditivos sean utilizados en gran escala. El primer colorante “carbón brea” de la malva fue sintetizado en 1876, este tipo de colorante se utilizó rápidamente a causa de su uniformidad, disponibilidad y variedad de matices. Después de estudiar la información disponible de 284 muestras de tintes alimenticios, se aprobó sólo siete para el uso en alimentos, siendo publicados en 1887 en el acta de drogas y alimentos puros. En los años siguientes se encontraron datos sobre inmunidad adversa para tres de estos colorantes (Weisler, 1975). Así mismo, Sthenberg y Garvilenka (1970), citados por Weisler, reportaron que algunos estudios en alimentación de animales en Rusia, indicaron que el colorante F, D y C Rojo N° 2, tiene un efecto adverso en la eficiencia reproductiva, que causa una disminución en el número de nacimientos de las crías.

Pues bien, esta reciente restricción a nivel mundial del uso de aditivos artificiales y conservar la calidad de vida de los seres vivos ha renovado el interés en la utilización de colorantes naturales provenientes de vegetales y animales en la industria alimentaría y cosmética.

El colorante rojo obtenido a partir de la Kiwicha, achita, achís, etc. (*Amarantus Caudatus*), puede ser un excelente sustituto para los colorantes F, D y C Rojo N° 2 o amaranto. Opushuns (1964), reportó que estos dos colorantes tratan de una misma sustancia.

Por otro lado, se sabe que las semillas de la Kiwicha tienen un alto valor nutritivo comparado con la quinua y la cañihua (*Portocarrero, 1978*). En cuanto al contenido de carbohidratos es semejante a los cereales; en proteínas y calidad de aminoácidos, vitaminas y minerales, es largamente superior a ellos.

Cabe destacar que este producto posee alto contenido de aminoácido (Lisina) que se encuentra en menor proporción en la mayoría de los vegetales (*Sumas, 1982*).

Como se puede ver, la importancia de esta planta no es solo como fuente de colorantes, sino como un excelente alimento para la humanidad, que fue ampliamente usado por los habitantes del Perú antes de la llegada de los españoles.

En el presente trabajo se muestra que el colorante obtenido de esta planta es de fácil extracción y puede ser utilizado como colorante natural, sustituyente a los colorantes artificiales en la Industria Alimentaria..

Por lo tanto, el cultivo de esta planta estaría justificado, donde es utilizada las semillas como alimento humano y la inflorescencia como fuente del colorante.

2 GENERALIDADES

2.1 ASPECTOS AGRONOMICOS DE LA KIWICHA (AMARANTHUS CAUDATUS)

Según *Herrera*(1940), el *Amaranthus Caudatus* tiene entre los nombres comunes: Kiwicha; *Weberbauer* (1945), cita los nombres por regiones como son: Caimi (Sandia-Puno), Quihuicha (Cuzco), Achita (Castrovirreyna-Huancavelica), Coyo y Achis (Santiago de Chuco, Pataz-La libertad). Dicha especie también es conocido en otros países como: República de Argentina "Trigo Incaico" y en el Brasil "Arroz miudo del Peru", *Francia* (1961).

2.1.1. Origen

Amaranthus : significa privativo y marciánico, se marchita, en alusión a la persistencia de las flores³. Esta planta según *Hunzinger*, se cultiva desde tiempos muy antiguos por los nativos de diversas regiones montañosas de América y Asia., sostuvo que crece en América Meridional. En el Perú se halla en valles templados o templados fríos del centro, norte y sur, particularmente en los departamentos del Cuzco, Apurimac y Ayacucho.

Existen aproximadamente 75 especies de *Amaranthus* de los cuales 60 son nativos de América y los restantes son originarios de Europa, Asia, Africa y Australia.

La domesticación del *Amaranthus* ocurrió aparentemente solo en pocas regiones en el Sud-Este de Asia y el *Amaranthus tricolor* fue domesticado como hortaliza y también fueron seleccionada especies ornamentales debido al color de sus hojas. En cambio la domesticación del *Amaranthus* como cultivo granífero tuvo lugar en América Tropical donde se desarrollaron tres especies de cultivos graníferos de *Amaranthus* en América Precolombina: *Amaranthus caudatus* incluyendo las formas variantes en los Andes de América del Sur, *Amaranthus cruentus* en América Central y *Amaranthus hypochondriacas* en México.

2.1.2. Clasificación Botánica

Se clasifica de acuerdo a (6):

- Nombre Botánico: *Amaranthus caudatus*.
- Clasificación Botánica según la sistemática de

Engler:

División	Fanerógamas
Clase	Dicotiledóneas
Familia	Amarantáceas
Género	<i>Amaranthus</i>
Especie	<i>Amaranthus Caudatus</i>

2.1.3. Morfología

Es una especie anual(7) que alcanza gran desarrollo y elevadas alturas en suelos fértiles; en algunos casos alcanza hasta 2,60 metros. Su ciclo vegetativo es variable entre 120 a 180 días., dependiendo de la variedad o línea y de la zona ecológica donde se cultiva.

Tienen un tallo cilíndrico deformado, con surcos longitudinales superficiales, observándose protuberancias en los lugares donde nace las flores y las yemas; el color del tallo varía entre el blanco amarillento al rojo encarnado; las raíces son pivotantes, en algunas formas muy ramificadas.

Las hojas, son alternas y largamente pecioladas, su limbo es lanceolada-aovado-lanceolado que mide hasta 0,20 m.

Las inflorescencias, son películas grandes, compuestas de numerosas espigas densas, delgadas y más o menos largas.

Las flores están rodeadas por dos brácteas cuya longitud es dos veces mayor que las de los sépalos, las flores presentan sépalos espatuladas de color rojo púrpura y mide $1,5 \times 10^{-3}$ m a 2×10^{-3} m de largo.

Con respecto a la inflorescencia, estas son impresionantes y grandes y que llegan a medir hasta 0,90 m de longitud, las hay decumbentes, erectas y semierectas, adoptando formas glomeruladas o amarantiformes típicas densas o laxas; el eje

central de la inflorescencia, osea la continuación del tallo lleva grupos de flores llamadas dicasios; el número de flores de cada uno de estos dicasios es variable con flores masculinas y femeninas dispuestas en la inflorescencia en forma sesil o ligeramente pedunculadas; las flores pistiladas tienen un ovario con tres ramas estigmadas.

El fruto, es un pixidio que contiene una sola semilla blanquecina, el embrión es curvo y contiene un perisperma harinoso.

El fruto, es un pixidio cubierto por una cápsula que se abre transversalmente; la semilla es circular vista por encima y lenticular vista de costado de $1,0 \times 10^{-3}$ m a $1,5 \times 10^{-3}$ m de diámetro y $0,5 \times 10^{-3}$ m de espesor de color blanco amarillento en ciertas formas, rosadas, parda o negra; la mayor parte de la semilla está ocupada por el embrión que se arrolla en el círculo.

2.1.4 Cultivo

En cuanto al cultivo, se encuentra en casi toda la región de los andes peruanos entre 2500 a 3500 m sobre el nivel del mar, ya sea en forma silvestre y frecuentemente cultivada aunque no en grandes escalas; también este producto se

cultiva en Europa. La siembra de la achita es realizada por los aborígenes en los costados de las chacras junto al maíz y la quinua. La época de siembra es el mes de diciembre, se realiza al voleo, dejando crecer la planta hasta su florecimiento y maduración completa.

Pero los que más conocen el cultivo de esta planta recomienda no sembrarla más arriba de 2500 m.s.n.m. porque las grandes alturas afectan su rendimiento. La época de siembra debe coincidir hacerlo al voleo y teniendo en cuenta que cada gramo de semilla contiene más de 1500 unidades, es suficiente 15 Kg por hectárea. Pero lo aconsejable es sembrar en líneas distantes de 0,15 a 0,20 m con lo cual la cantidad de semilla necesaria para el sembrío de una hectárea se reduce a 8 Kg

El ciclo completo desde la siembra a la cosecha es de 150 días. Recientemente en estudios más minuciosos, se reporta la mejor época para su cultivo en la sierra del país es a inicios de la primavera y hasta mediados del mes de diciembre.

2.1.5 Cosecha

La cosecha se realiza de igual manera que la quinua o el sorgo, ya sea en forma manual y mecánica o empleando cosechadoras combinadas.

2.1.6 Usos

La planta puede ser utilizada completamente aprovechando la semilla, hojas, tallos y flores.

2.1.6.1 Uso de las semillas

Los habitantes de la región de los andes lo utilizan esencialmente como alimento, también mezclado con chicha de Jora en iguales proporciones, asimismo lo utilizan en la preparación de mazamorra.

De acuerdo a las investigaciones realizadas, se afirma que su consumo es una práctica netamente tendiente a utilizarlo como alimento. También, los granos pueden emplearse para la elaboración de harinas de panificación, galletas, fideos, tortas y repostería en general.

2.1.6.2 Uso de los tallos, hojas y flores

De la cocción de las hojas y tallos de la planta se observa que el agua se colorea obteniendo un color similar a lo que genera el maíz morado. por esta característica en algunos lugares es reemplazado por el maíz morado. Se menciona (6) que de los tallos calcinados se prepara lejía dicho producto es utilizado en el pelado del maíz para la obtención del mote pelado.

También es utilizado como forraje que producen gran masa foliar, soporta una corte, pudiéndose dejar el rebrote para la producción de semillas. El valor nutritivo del forraje es muy superior al valor nutritivo de la alfalfa, pero claro está que la *Amarantus Caudatus* solo soporta dos cortes. El mismo autor sostiene que se pueden obtener colorante vegetales (las líneas de color rojo encarnado tienen una betalaina) que pueden emplearse en la industria alimentaria. Sin embargo acota, que estos colorantes se degradan fácilmente por la acción de la luz, calor y presencia de oxígeno.

2.1.7 Valor Nutritivo.

Esta Planta es importante por que su fruto es usado en la alimentación humana, por su alto valor nutritivo.

La harina de la Kiwicha , tiene más grasa y sales minerales que la harina de trigo, casi igual de proteínas y algo menos de carbohidratos.

En el cuadro 1 se muestra el análisis proximal de Kiwicha y los porcentajes de las sales minerales en la ceniza indicados por Herrera (8), en la cual se puede apreciar 12,3% de proteínas en base húmeda.

En el cuadro 2, podemos observar el valor calórico y el valor nutritivo de la Achita es mayor que de la quinua, cada una de estas dos comparadas con cuatro variedades.

CUADRO 1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA SEMILLA DE KIWICHA

	(% en peso en base húmeda)
Humedad	11,7
Proteínas	12,425
Grasas	16,84
Carbohidratos	48,48
Fibras	7,31
Ceniza	2,74
Vitamina B1	0,6
	% peso
Ca *	0,3292
P *	0,095
Fe *	0,1
Mg *	0,2186

* Sales minerales en la ceniza

Fuente: Herrera

**CUADRO 2. VALOR CALÓRICO Y VALOR NUTRITIVO DE LA
ACHITA EN COMPARACIÓN CON OTROS CEREALES**

	VALOR CALÓRICO (Calorías)	VALOR NUTRITIVO
Quinoa blanca	343,53	4,9
Quinoa amarilla	345,53	5,05
Quinoa gris	344,86	4,7
Quinoa colorada	349,14	4,9
Achita	395,06	5,6
Cañihua pisorhuanca	353,29	5,2
Cañihua morada	353,08	5,4
Cañihua amarilla	351,77	5,41
Cañihuaco	373,8	5,42

Fuente: Herrera

En el cuadro 3, se reporta el porcentaje óptimo de harina de achita o kiwicha que ha de incorporarse a la harina de trigo, obteniéndose galletas de excelente calidad.

**CUADRO 3. VALOR CALÓRICO Y VALOR NUTRITIVO DE LAS
GALLETAS DE VAINILLA PREPARADO CON UN
PORCENTAJE DE HARINA DE KIWICHA**

MUESTRA	MUESTRA FRESCA (Calorías)	MUESTRA SECA (Calorías)	VALOR NUTRITIVO
De trigo	395,76	438,75	10,89
Con 10% de Achita	403,13	445,94	10,61
Con 20% de Achita	403,45	446,29	10,10
Con 30% de Achita	403,25	447,17	10,05

Fuente: Francia

Se afirma que la proteína de la kiwicha es de alto valor nutritivo, la cual resulta por su equilibrio en el contenido de aminoácidos; su contenido de lisina es adecuado y esto cobra particular interés, puesto que la mayor parte de los alimentos de origen vegetal lo contienen en una proporción muy baja o no la tienen.

2.2 ASPECTOS RELACIONADOS CON EL COLORANTE

En las investigaciones realizadas con relación a los colorantes naturales es aislar las sustancias que posea las características visibles (color). Una de las características principales y más fáciles de apreciar es el color. Desde

entonces los pigmentos comunes pertenecen a los productos más resistentes y los más investigados.

2.2.1 Conceptos químicos

La kiwicha (*Amaranthus Caudatus*) estudiados en pigmentos rojo-violeta en casi la totalidad de la planta siendo más intenso en la inflorescencia, además contiene pigmentos amarillos la agrupación de ambos se denominan betacianinas, término que ha sido investigado por Mambry y Dreiding (1968), citado por Piatelli (1975), para describir colectivamente los dos grupos de pigmentos obtenidos de plantas, solubles en el agua, de distribución restringida y estrechamente ligado tanto química como bioquímicamente: **La betacianinas rojo-violetas y las betaxantinas amarillas.** Los colorantes naturales pueden ser clasificados según su naturaleza química en diversos grupos (Tabla1).

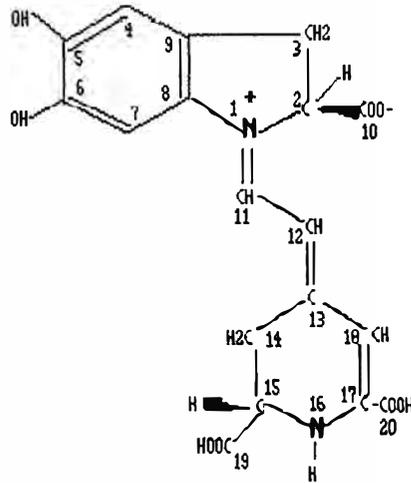
Tabla 1

Naturaleza Química	Ejemplos	Color Predominante	λ_{\max}^* , nm
Carotenoides (tetraterpenoides)	Carotenoides	Amarillo- anaranjado	400-500
Flavonoides	Flavonas Flavonoles Chalconas Auronas Antocianinas	Blanco-crema Amarillo-blanco Amarillo Amarillo Rojo-azul	310-350 330-360 340-390 380-430 480-550
Santonas	Xantonas	Amarillo	340-400
Quinonas	Naftoquinonas Antraquinonas	Rojo-azul-verde Rojo-púrpura	420-460
Derivados indigoides e Índoles	Índigo betalaínas	Azul-Rosado Amarillo-rojo	470-485(beta xantinas)
Pirimidinas sustituidas	Pterinas Flavinas Fenoxazinas fenazinas	Blanco-amarillo Amarillo Amarillo-rojo Amarillo- púrpura	

2.2.1.1. Betacianinas

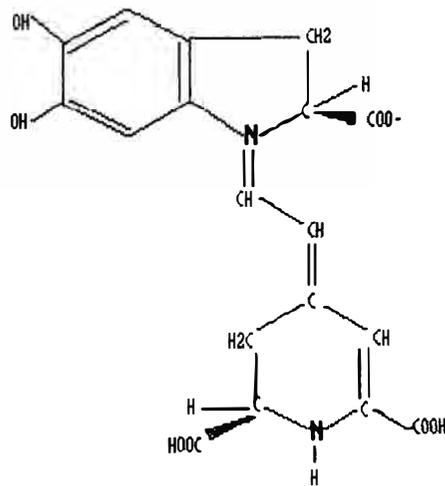
Con relación a un estudio sobre colores otoñales de las hojas de la amarantacea son pigmentos denominados betacianinas, antiguamente considerados como antocianinas nitrogenadas, siendo estos ampliamente investigados. La betanidina e isobetanidina, Fig.1 y Fig.2 son las sustancias básicas de todas las betacianinas según Breiding (1961).

FIG1 : BETANIDINA



Estructura I

FIG2 : ISOBETANIDINA



Estructura II

2.2.1.1.1. Tipos de Betacianinas.

En el cuadro siguiente se muestra la betacianina mencionando su máxima longitud de onda en el agua y los aglicones por hidrólisis ácida.

CUADRO 4: TIPOS DE BETACIANINAS

PIGMENTO	Máxima long. de Onda en Agua (mu)	AGLICONES OBTENIDOS
Amarantina	536	b, i
Isoamarantina	536	i
Betanina	538	b, i
Isobetanina	538	i
Celosianina	544 – 546	b, i
Isocelosianina	542 – 546	i

b) Betanidina

i) Isobetanidina

Fuente: M. Piatelli (1974)

2.2.1.1.2. Propiedades

a) Solubilidad

- No soluble en agua, insoluble en etanol.

b) Espectrofotometría

De la solución acuosa para la betanina: a
pH=5,4 : Longitud de Máxima absorción, 533

nm; a pH= 8,9 : Longitud de máxima absorción a 547 nm.

El color de una solución de la muestra en agua va desde rojo a violeta y se torna amarillo cuando se agrega 10% de NaOH.

c) Estabilidad

Las betacianinas son compuestos muy inestables y esta depende de los siguientes factores: pH, temperatura, oxígeno, luz, cationes metálicos.

pH:

La betanina cuenta con cuatro grupos carboxílicos ionizables: 2 carboxílicos y probablemente 2 grupos pirrólicos amínicos, esto hace que este compuesto manifieste con facilidad variaciones en su pH. Peterson y Joslyn (1970). El color de la betanina varía con el pH desde un rojo cereza (pH=2,5) hasta rojo violeta (pH=10,0). Nilson (1970), realizó estudios espectrofotométricos de la betanina a diferentes pH comprobándose que a un valor de pH=4,0 tiene una máxima absorción a una longitud de onda entre 535 y 538 nm no ocurriendo cambio

alguno en el color. En cambio por debajo de pH=4,0 el máximo de absorción cambia hacia una menor longitud de onda (535 nm a pH=2,0) y aumenta en intensidad en la región 575 - 650 nm. Por encima de pH=7,0 la máxima absorción cambia hacia una longitud de onda mayor (544nm a pH=9,0) y disminuye en intensidad, presentándose un considerable incremento en la absorbancia en las regiones de 575-650 nm y 400-450 nm con las alteraciones en el color de la betanina de rojo a violeta. Según Von Elbe (5) se determinó que la betanina estaba entre valores de pH de 4,0 a 5,0.

Temperatura

La degradación de la betanina a diferentes temperaturas y tiempos sigue una reacción cinética de primer orden.

En las reacciones cinéticas de primer orden las variaciones en la reacción pueden ser expresadas en términos de valores de vida media $T_{1/2}$. Von Elbe reporta la termoestabilidad de las betaninas a pH=5,0 :

Temperatura °C	Valores de T ½ (min)
25	1150 ± 100
50	310 ± 30
75	90± 10
100	14,5 ± 2

Oxígeno

Los mecanismos de oxidación de la betanina se reconocen como reacciones en cadena de radicales libres.

3.0 PROCESO DE LA EXTRACCION DEL COLORANTE

Las operaciones unitarias utilizadas en el proceso de extracción del colorante son:

3.1 Acondicionamiento de la Materia Prima

La cantidad de contaminante en los productos de la cosecha, hace necesario disponer de un sistema de limpieza. Las operaciones de separación necesaria son las siguientes: Limpieza, Selección y Clasificación.

- **Limpieza**

Para obtener un producto de buena calidad y mejor rendimiento, hay que limpiar la materia prima manualmente para las operaciones posteriores. Para mantener la calidad del producto es

esencial la limpieza eficiente, que implica la eliminación cuidadosa de los contaminantes (piedras, fragmentos de tallos, hojas, tierra, otros).

- **Selección**

Tiene por objeto la separación de la materia prima en grupos de las mismas características físicas, tales como el tamaño que se realiza con un tamiz incorporado dentro del molino de cuchillo. Una disminución del tamaño de partícula facilita la extracción. La molienda ayuda a homogenizar la muestra.

- **Clasificación**

Es una operación de separación de la materia prima en grupos con diferentes características de calidad. La clasificación lleva siempre consigo una selección.

3.2 Reducción del tamaño o molienda y tamizado

La reducción del tamaño se realiza:

- Para facilitar la extracción de un constituyente deseado.
- La disminución del tamaño de partícula de un sólido conduce a un aumento de la superficie del mismo, que mejora la extracción del soluto, al aumentar el área de contacto entre el sólido y el solvente.
- La difusión del solvente es mucho más eficiente cuando las partículas son pequeñas.

Se vierte los sólidos sobre una superficie perforada o tamiz, que deja pasar las partículas pequeñas y retiene los de tamaño superior. Los tipos de tamices más usados son: Estacionarios, giratorios y vibratorias.

3.3 Extracción de la materia colorante

Muchos productos orgánicos naturales se separan de su estructura original por medio de la extracción, lavado, lixiviación, etc.

En un proceso de extracción generalmente se pueden considerar tres etapas:

- Cambio de fase del soluto- disolvente en el solvente.
- Difusión del solvente a través del sólido hacia el exterior.
- Contacto del solvente con las partículas de soluto, esto es en la masa de la solución.

La primera etapa ocurre tan rápido de que sus efectos son despreciables en la relación total de extracción. Generalmente en las células vegetales el material soluble como es el caso específico de los pigmentos se encuentran en el interior de la pared celular en los plástidos, que es impermeable al solvente, en este caso se debe triturar o romper la pared por efecto de una presión mecánica o en su defecto por un fenómeno osmótico que permite al contenido fluir al exterior. Si el material sólido tiene una estructura celular, la relación o velocidad de extracción será

general y comparativamente baja, debido a que las paredes de la célula ofrecen una resistencia adicional.

3.4 Factores que influyen en la extracción

Los factores que influyen en la extracción de colorantes en base a la extracción de colorantes a partir del achiote, cochinilla, palillo y betarraga son:

Temperatura

Generalmente es preferible extraer a temperaturas altas, pues dan lugar a una mayor solubilidad del soluto en el solvente. El coeficiente de difusión aumentará con el aumento de temperatura, permitiendo aumentar la velocidad de extracción. Sin embargo el aumento de temperatura tiene su límite. Para el caso de las Betacianinas se encontró que la temperatura óptima es de 75°C, sin afectar la estabilidad del colorante.

a) Tamaño de partícula

Es necesario un determinado grado de molienda o fineza del producto con el fin de lograr una buena difusión del soluto al solvente. Considerando que cuanto más pequeña sea la partícula mucho mayor es el área interfacial, si es demasiado fino dificulta la extracción impidiendo la libre circulación del líquido, ó que en algunos casos la ruptura de las células deja en libertad materia indeseable.

b) Agitación del solvente

Incrementa la difusión y por lo tanto aumenta la transferencia de material, en cuanto a la agitación habría que ver que esta no genere espuma.

c) Tiempo de extracción

El tiempo de extracción, está en función inversa a los factores de temperatura y agitación, con ciertos límites. Es necesario dar suficiente tiempo para que el soluto pueda difundirse hasta la superficie de contacto con el solvente.

d) Equilibrio entre el solvente y el soluto

Es necesario encontrar el equilibrio entre el solvente y la materia prima a ser extraído. Debe ser un solvente selectivo y su viscosidad suficientemente baja para que pueda circular libremente.

e) Calidad del solvente

Es necesario el empleo de un solvente que se ajuste a las características del pigmento; en nuestro caso el pigmento más conocido es la Betanina y es deseable un solvente ácido de pH entre 4 a 5, en el cual el color se mantiene estable. Entre los ácidos tenemos: el ácido acético, es un excelente disolvente de los elementos: fósforo, azufre y muchos componentes orgánicos y son muy resistentes a los oxidantes. Además el ácido acético actúa como antiséptico.

3.5 Métodos empleados en la extracción

3.5.1 Extracción por maceración

Consiste en mantener sumergido las partículas debidamente fragmentada, en un solvente hasta que éste penetre en la estructura celular, ablande y disuelva las porciones solubles, luego el líquido se separa por filtración. Se recomienda que la maceración se efectúe a temperatura de 15 a 20 °C.

Los parámetros estudiados en este método: Tiempo, Volumen del solvente, ácido a emplear, concentración del ácido y Temperatura. La Tabla 2 muestra los resultados de la determinación del tiempo óptimo en la extracción del colorante.

Tabla 2: Evaluación del tiempo de Operador

Solvente : agua
 Temperatura : 20°C
 Ambiente : Oscuro
 Relación MP/Solvente: 1/16

Tiempo (hr)	pH	Sólidos Totales %
24	5,7	1,098
12	5,5	1,088
6	5,4	1,080
3	5,4	1,080
1.5	5,4	1,075

Como se puede observar en la Tabla 3, la temperatura óptima de operación es de 20°C.

Tabla 3: Evaluación de Temperatura de Operación

Solvente : Agua acidulada (cítrico)
 Concentración : 0,025%
 Ambiente : Oscuro
 Tiempo de Maceración: 3 horas
 Relación MP/Solvente : 1/12

Temperatura (°C)	PH	Sólidos Totales %
40	4,80	1,090
20	4,95	1,085
10	4,90	1,084
5	4,90	1,080

De acuerdo a los cuadros anteriores, el pH=5 es el óptimo para la operación de extracción y la concentración de ácido cítrico es de 0,025 %, dan estabilidad a la extracción del colorante.

3.5.2 Extracción por agitación mecánica (difusión)

La muestra y el solvente asignado es colocado en un vaso de precipitado de 0,4 l de capacidad mediante un agitador mecánico, el cual se pone en contacto el solvente con la materia prima para la obtención del colorante natural.

Tabla 4: Extracción por método de Agitación Mecánica.

Solvente	: agua acidulada (cítrica)
Concentración	: 0,025 %
Relación Materia prima /Solvente	: 1/12
Tiempo	: 1 minuto
Temperatura	: 20°C (ambiente)

Velocidades agitación (RPM)	pH	Sólidos Totales %
400	4,95	1,080
700	5,00	1,086
1200	5,05	1,094
1630	5,15	1,112
2250	5,15	1,125

3.5.3 Extracción por Cocción

Son preparados líquidos que se confecciona hirviendo con agua sustancias vegetales. La muestra es colocada en un vaso precipitado de 0,4 l, seguidamente se añade el solvente asignado para luego llevarlo a ebullición a diferentes tiempos.

En la Tabla 5, se aprecia que el tiempo más adecuado es de 1 minuto, extrayéndose 1,085% de sólidos.

Tabla 5: Evaluación del tiempo de Operador

Solvente : agua acidulada (cítrico)
 Relación MP/Solvente: 1/12

Tiempo (min)	PH	Sólidos Totales %
1	4,95	1,085
5	5,0	1,090
10	5,1	1,1
15	5,15	1,15

3.5.4 Extracción por lixiviación

La lixiviación ó Percolación es una operación en la cual la sustancia depositado en un recipiente adecuado es separada de sus componentes solubles mediante el descenso de algún disolvente que pasa a través de ella.

Las fuerzas físicas que tienen parte importante en la lixiviación son: Gravedad, viscosidad, adherencia, fracción, ósmosis, capilaridad y solución.

El éxito del proceso de lixiviación depende en gran medida de la velocidad de flujo del líquido. Si este pasa muy rápidamente, no se agota el material y queda en éste principios activos; pero si el líquido fluye con excesiva lentitud, se pierde tiempo valioso.

El objetivo principal es el de disminuir el **volumen del solvente y aumentar la concentración en el extracto**. Los diferentes factores que afecta este tipo de extracción son:

forma del lixiviador, tamaño de la partícula del polvo, humedecimiento de la muestra antes del empaçado, volumen del solvente y finalmente la velocidad de flujo.

Para este método se realizó una serie de pruebas preliminares, con el fin de determinar la secuencia a seguir para la obtención de una buena columna de lixiviación

a) **Forma del lixiviador.**- Para obtener un extracto fluido se debe preparar un lixiviador cilíndrico. El lixiviador está constituido: **Columna** o cuerpo donde se aloja el paquete, **diafragma** con perforaciones de $0,32 \times 10^{-2}$ m que sirva para soportar el filtro y, el **recolector** que tiene la forma de un embudo que soporta al filtro y facilita la recolección del extracto.

b) **Tamaño de partículas.**- Es importante tener en cuenta el fraccionamiento de la muestra, ya que una partícula pequeña facilita la extracción, pero impide el paso del extracto. Para el tamaño de partículas que se obtuvieron en un molino de cuchillas con su propio tamiz incorporado. La presión de empaçado fue de 0,477 Kg/cm² ($0,466 \times 10^5$ Pa) asignada luego de hallarse en forma practica en una balanza de platillos. Las pruebas de tamaño de partícula se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6: Evaluación del tamaño de partícula

Solvente : agua acidulada(0,025%ácido cítrico)
 Temperatura : 20°C
 Pres.empacado : 0,318 Kg/cm² (0,311 x10⁵ Pa)
 Relación MP/Solvente: 1/8
 Forma lixiviador : cilíndrico
 Rel. Humed.MP/solv. : 1/1

Tamaño de partícula (10 ⁻³ m)	PH	Sólidos Totales %
0,5		
1,0	4,95	3,584
2,0	5,05	3,045

Con tamaños de partículas menores de 0,001m de diámetro, impiden el desplazamiento del solvente, produciéndose una carencia total del extracto. Partículas mayores de 0,001m. Facilitan el desplazamiento del solvente en el lecho, debido a su alta porosidad, no consiguiéndose el tiempo de retención adecuado y dando menor concentración de sólidos totales e intensidad de color.

- c) **Humedecimiento de la partícula:** Determinación de la relación de humedecimiento de la materia prima-solvente (Tabla 7)

Tabla 7: Evaluación de humedecimiento de la muestra

Solvente : agua acidulada (0,025% ac.cítrico)
 Temperatura : 20°C
 Tamaño de Partícula : 10^{-3} m
 Presión de empacado : 0,318 Kg/cm² (0,311x10⁵ Pa)
 Forma del lixiviador : cilíndrico

Relac. MP/solvente	Sólidos Tot. %	PH
1:1	3,584	5,05
1:2	3,538	5,05
1:4	3,121	5,10
1:8	No se puede empacar	

Se puede observar que la relación óptima es de 1:1 en que se da la máxima concentración de sólidos e intensidad de color. Relaciones mayores a ésta llevaron a formar columnas saturadas e inadecuadas para su empacado; esto hizo que los extractos obtenidos tuvieran baja concentración de pigmentos.

d) **Presión de Empacado:** Esta prueba tiene por finalidad determinar de manera correcta dentro del lixiviador, ya que una presión excesiva podría demorar el proceso y una menor presión facilitaría el paso del solvente, evitando la total extracción. La variable es la presión sometida a cada capa de la muestra siendo esta la misma para todas las pruebas. Una de las variables más importantes en este método es el empacado o colocación de la muestra, presión de empacado Tabla 8.

Tabla 8: Evaluación del Empacado

Solvente	: agua acidulada (0,025% ac.cítrico)
Temperatura	: 20°C
Tamaño de Partícula	: 10^{-3} m
Relac.MP/Solv.	: 1/8
Relac.Humedeci.	: MP/solvente 1:1
Forma del lixiviador	: cilíndrico

Presión (10^5 Pa)	Sólidos Totales %	PH
0,311	3,584	5,05
0,466	3,674	5,05
0,622	3,712	5,05
1:8	No se puede empacar	

Se puede observar que la presión óptima es de 0.477 kg/cm² ($0,466 \times 10^5$ Pa). A presión menor a ésta la columna opone una menor resistencia al paso del solvente a través del lecho, lo que produce un extracto de baja concentración de pigmento. Una presión mayor produce un extracto de mayor concentración de sólidos conteniendo un mayor % de sustancias indeseables. A mayor presión, produce un tiempo mayor de extracción que es innecesario.

e) Volumen de solvente empleado.- Se refiere al volumen de solvente empleado después del empacado de la muestra. La finalidad es encontrar el volumen mínimo con que se debe extraer el máximo del colorante. En la tabla 9 podemos observar que un volumen de solvente que se encuentra en

una relación materia prima-solvente de 1:6, extrae la mayor concentración de pigmentos (3,663 %).

Un menor volumen produjo un extracto con bajo porcentaje de sólidos (pobre en pigmentos), mientras que los volúmenes mayores extrajeron mayores porcentajes de sólidos indeseables, lo que es desfavorable para la operación de purificación.

Tabla 9 : Evaluación de Materia Prima - Solvente

Solvente : agua acidulada (0,025% ac.cítrico)
 Temperatura : 20°C
 Tamaño de Partícula : 10^{-3} m
 Presión de empaado : 0,477 Kg/cm² (0,466x10⁵ Pa)
 Relac.Humedeci. : MP/solvente 1:1
 Forma del lixiviador : cilíndrico

Relac. MP/solvente	Sólidos Totales%	pH
1:4	3,102	5,05
1:6	3,663	5,05
1:8	3,674	5,10
1:10	3,732	5,15

3.6 Filtración

La filtración se realiza con el objeto de separar la borra y dejar libre el extracto de impurezas y partículas grandes para facilitar su posterior purificación. La filtración fue realizada con el papel filtro Whatman N°1 con la ayuda de una bomba de vacío. La filtración continuó y para evitar que parte del colorante quede en

la borra, esta fue lavada dos veces con agua, utilizando el mismo volumen de la muestra.

3.7 Purificación

La Purificación se realiza con el objeto de obtener un extracto sin sabor ni olor a hierba, libre de partículas groseras en suspensión. Así mismo, eliminar las sustancias extrañas como sólidos insolubles, azúcares, compuestos aromáticos, etc.

La purificación de pigmentos se realiza mediante resinas de intercambio iónico y la separación de las betacianinas por técnicas cromatográficas (Piatelli y Minale, 1976 y Von Elbe, 1978).

Para la purificación se realizan por 3 tipos de ensayos:

- a) **Purificación con tierra diatomeas.**- Con este tipo de purificación, se logra eliminar 8,12% de impurezas y pH de 5,05.
- b) **Resinas de Intercambio Ionico.**-Se realiza con 3 tipos de resinas de intercambio iónico: Dewex 50, Amberlita I.R. 118(H) e I.R.C. 293. En estas resinas se realizaron en columnas de 13×10^{-3} m de diámetro por 0,30 m de alto y se emplearon 0,012 kg de resina. En los estratos purificados con resinas con pH=3, el cual es inadecuado.

c) **Almidón de Maíz.-** Se utilizó fibra de vidrio como filtro y soporte, que no llegó a filtrar a través del lecho preparado en la columna.

En la Tabla. 10 se observa las diferentes purificaciones de estas 3 métodos de purificación.

Tabla 10: Evaluación de los purificadores empleados

Purificaciones	Sólidos Totales Antes (%)	Impurezas Eliminadas (%)	PH Extracto Purificado	Sólidos Totales Después (%)	Observaciones
Tierra D	3,663	8,12	5,05	3,366	Color y sabor a hierba
Dower	3,663	93,89	3,0	0,224	Sin Olor y sabor
I.R.118	3,663	99,95	3,1	0,295	Sin olor y sabor
IRC 293	3,663	90,64	3,1	0,343	Sin olor y sabor
Almidón de maíz	3,663	--	--	--	--

3.8 Concentración

Es la operación de concentrar una disolución por ebullición y separación del solvente para su posterior secado. Se están utilizando cada vez con mejores resultados los evaporadores agitados o de película barrida. La concentración tiene también por objetivo evitar su fermentación y contaminación.

La concentración se llevó a cabo a una Temperatura de 45°C y a una presión de 70 mmHg ($0,0933 \times 10^5$ Pa) en un evaporador rotatorio al vacío. Este procedimiento se utilizó cuando se requería la concentración de los productos purificados para su

análisis cromatográfico y para el extracto que fue secado hasta una concentración de 17% de sólidos.

En la tabla.11 se observa las características del producto concentrado.

Tabla 11: Características del colorante Concentrado

Características	Extracto 3% almidón	Extracto 0.3% CMC	Extracto solo
Extracto Seco(%)	7	7	7
Viscosidad(cps)	7,049	2,25	1,82
Densidad(gr/cc)	1,1264	1,1219	1,1201
Azucares Reductores(%)	5	5	5
Cenizas (%)	5,327	5,289	5,28
Conc.Inicial De colorante (betanina)%	0,173	0,173	0,173

3.9 Secado

La finalidad del secado es tener un producto de fácil manejo y que ayude a la estabilidad del pigmento, ya que de esta manera se encuentra a su máxima concentración. Entre los métodos de secado tenemos:

a) Secado por Atomización

b) Secado por Liofilización

Adicionalmente durante el secado se utilizan mejoradores de secado (Carboximetil Celulosa CMC, Almidón), los cuales son aditivos para mejorar y facilitar el secado para producir cambio físico en el producto final.

a) **Secado por atomización.**- La finalidad del secado por rociada o atomización es ver la posibilidad del uso de los mejoradores (indicadores): Solución de Almidón gelatinizado al 3% y solución de CMC (CarboximetilCelulosa), las cuales se comparan con muestras en blanco.

Los parámetros de secado considerados fueron:

- 1 Velocidad de alimentación: 20 ml/min
- 2 El Calentamiento del aire del secador se hizo por medio de resistencias eléctricas.
- 3 Velocidad y presión en el rodete (6Kg/cm^2) ($5,868 \times 10^5\text{Pa}$)
- 4 Temperatura de entrada : 145°C y temperatura de salida 85°C .
- 5 Temperatura de alimentación 20°C

En la tabla 12, se muestran datos del extracto de kiwicha.

Tabla 12 : Condiciones de Secado por Atomización del extracto de kiwicha

Concentración Inicial de Sólidos (%)	17
Volumen total A secar (0,0011)	250
Presión del rodete (10^5 Pa)	5,868
Tiempo de secado (min)	12.5
Velocidad de alimentación (ml/min)	20
Temperatura Alimentación ($^\circ\text{C}$)	20
Temp.. entrada de aire ($^\circ\text{C}$)	145
Temp.. salida aire ($^\circ\text{C}$)	85

En la Tabla 13 se muestran los resultados de rendimiento obtenidos en el secado y podemos apreciar que el mayor rendimiento obtenido directamente en el recolector fue el que usó CMC (Carboximetil celulosa) al 0,03%, como vehículo (94,99 %) y mayor rendimiento de sólidos (95,85%), esto se debe principalmente a que el vehículo usado como calculante, disminuyendo el poder de higroscopicidad del colorante.

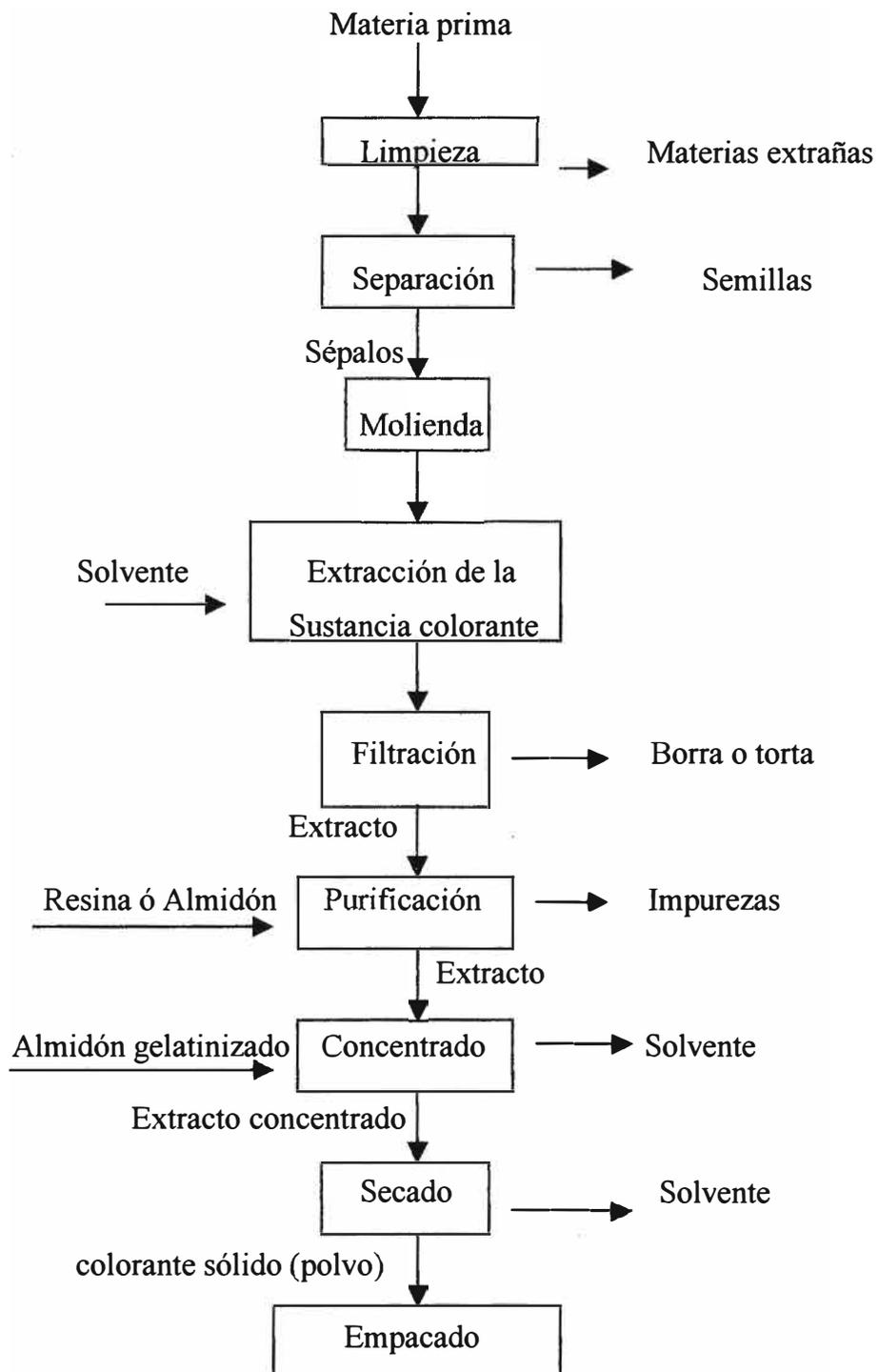
Tabla 13 : Rendimientos obtenidos por Atomización del extracto de colorante de la kiwicha

	Almidón 3%	CMC 0.3%	Sin vehículo
Sólidos en el recolector (10^{-3} Kg)	41,49	40,78	32,34
Sólidos Totales Obtenidos (10^{-3} Kg)	48,81	42,93	40,30
Humedad (%)	5,24	5,11	5,41
Rendimiento (%)	85	94,99	80,25
Rendimiento Total (%)	93,24	95,85	89,61

3.10 Descripción del flujo de operaciones

El siguiente esquema muestra el flujo de operaciones del proceso:

DIAGRAMA DE FLUJO



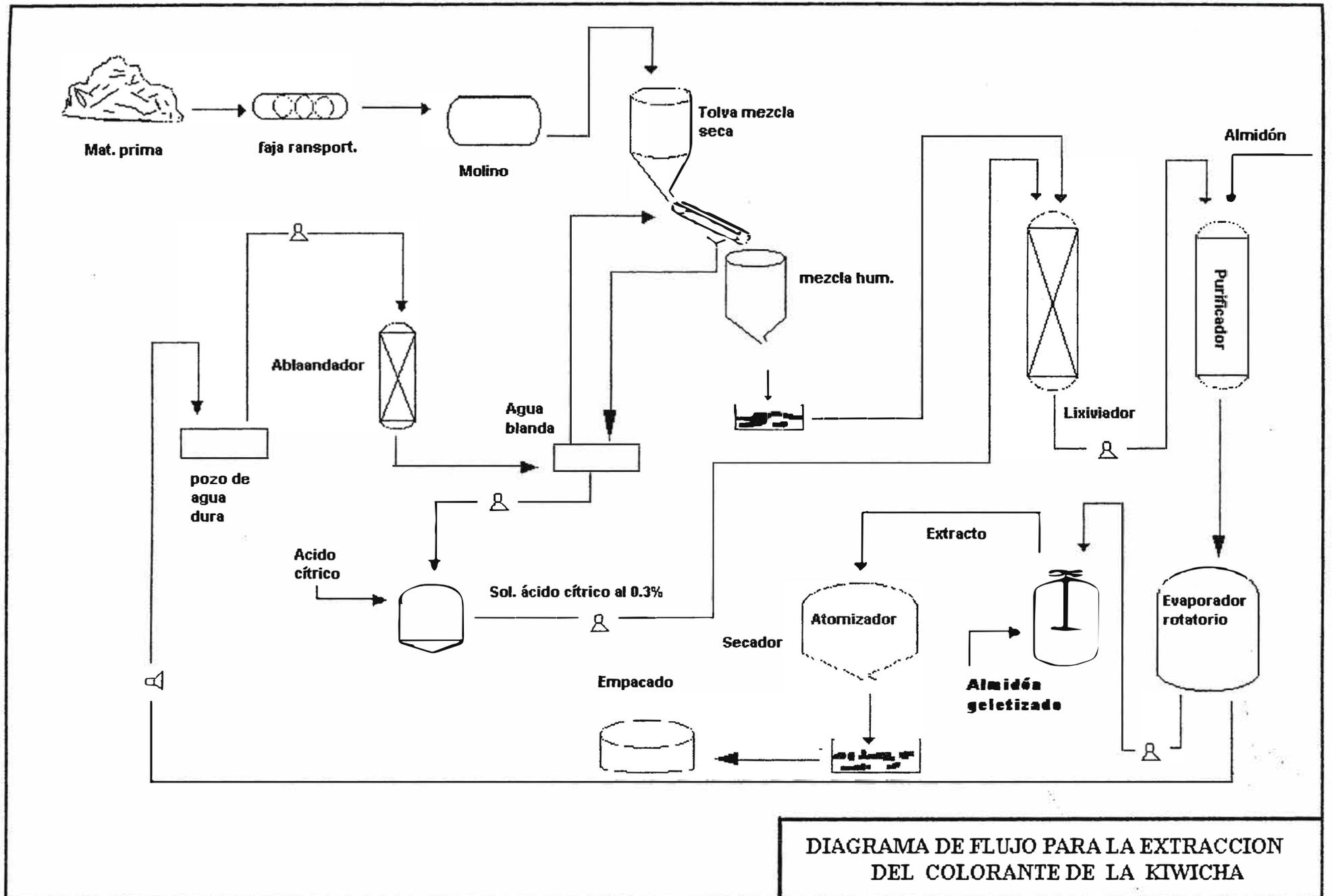


DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA EXTRACCION
 DEL COLORANTE DE LA KIWICHA

3.11 BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA

El objetivo principal es producir **0,042 TM/día** con la finalidad de equilibrar el déficit de 30% de importación de colorante (fuente: ADEX).

Los balances de masa en los procesos unitarios se realizaron en:

- a. Lixiviador**
- b. Evaporador**
- c. Atomizador**

Concluidos los balances de masa se obtuvo un producto de colorante de 0,0422 TM/día, con 5% de humedad

El balance de energía se realizó en el **Atomizador**

En las siguientes páginas se detallan los balances de masa y energía

Balance de Masa en el Lixiviador:

Quihuicha :	Sepalo (%)	Semilla (%)
	60	40
% de Colorante en Sepalos Coloreados:	4.0	

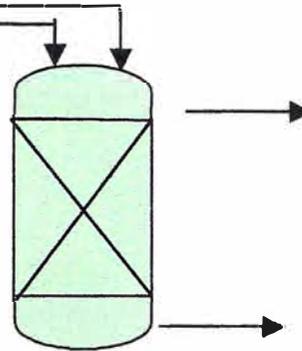
Datos :

	Entrada (TM)	Salida (TM)
Sépalo Coloreado		
Masa Sépalos	1.05	1.008
Sépalo/Solvente(sol ac.Citrico)	0.125	
Masa Solvente(ac.citr 0.3%)	8.400	
Masa de Acido Citrico	0.025	0.025
Masa de Agua	8.375	
Masa Total	9.45	
%Humedad	88.62	
Extracto		
Sólidos totales (%)		3.58
Masa de Colorante seco		0.042
Masa de Solución		1.173
Masa de Agua		1.106
Masa Total		1.148
%Humedad		96.34
Sépalo decolorado		
Masa Sépalos		1.008
Masa Agua		7.269
Masa Total		8.277
% Humedad		87.82

Balance de Masa en el Lixiviador:

Sépalo Coloreado

Sépalos = 1.05
 Sol. Ac. Citrico (0.3%)= 8.400
 Masa Agua= 8.375
 Masa de ácido citrico= 0.025



LIXIVIADOR

Extracto:

Masa Col. Seco = 0.042
 Masa agua = 1.106
 Total 1.148

Sépalo decolorado:

Masa Sepalos = 1.008
 masa de agua = 7.269

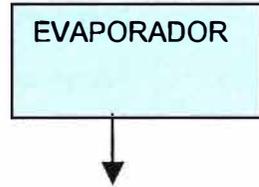
Características:

Presión de empaque optima(Kg/cm²)= 0.477(0.466 x 10⁶ Pa)
 Tamaño de partícula (mm) 1
 Temperatura (°K) 20
 Relacion Mat.Prima/Solvente = 1:1
 Humedecimiento
 Relac. MP/Solvente = 1:8
 Empacado

BALANCE DE MASA EN EL EVAPORADOR

Extracto

Masa Col.Seco= 0.042
 Masa agua = 1.1060
 %Humedad= 96.3



Masa Agua = 1.097

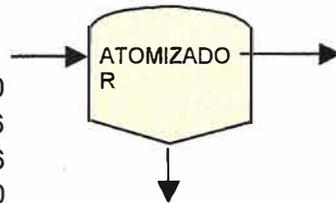
Extracto

% Humedad 17.000
 Masa Col.Seco = 0.0420
 Masa agua = 0.0086
 Masa Total 0.0506

BALANCE DE MASA EN EL SECADOR

Extracto

Masa Col.Seco = 0.0420
 Masa agua = 0.0086
 Masa Total 0.0506
 Humedad %= 17.0



Masa Agua= 0.006

Extracto

% Humedad = 5.000
 Masa Col.Seco = 0.0420
 Masa de agua= 0.0022
 Masa total 0.0442

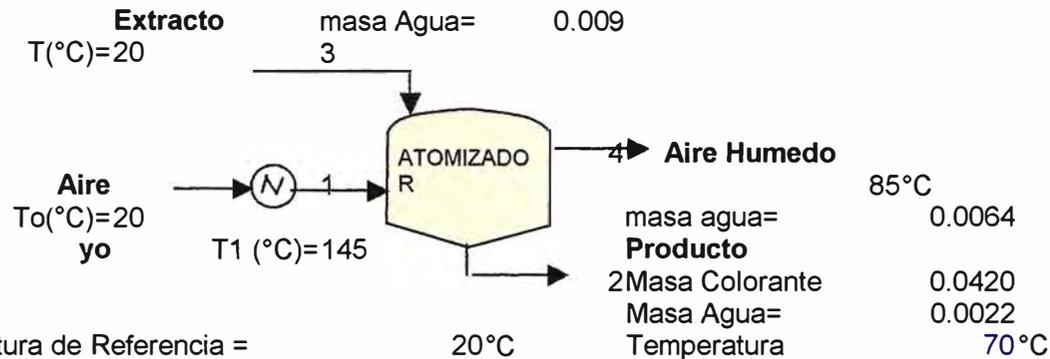
Kg
 42.00
 2.2
 44.2

Por lo tanto se concluye que se produce 44.2 Kg/dia de colorante con una humedad de 5%.

Condiciones de Secado

Concentració inicial de solidos (%) = 17
 Tiempo de Secado (min) = 12.5
 Velocidad de Alimentación (ml/min) = 20
 Temperatura de alimentación (°C) = 20
 Temperatura de entrada de aire (°C) = 145
 Temperatura de salida de aire (°C) = 85
 Humedad del producto(%) = 5

BALANCE DE ENERGIA EN EL ATOMIZADOR



Temperatura de Referencia = 20°C
 Calor Latente de vaporiz. agua = 539.2 Kcal/Kg
 Calor especifico del Agua = 1 Kcal/Kg.°C
 Calor especifico del aire = 1.0047 KJ/Kg.°C

To(°C) = 20
 Humedad = 50% asumido
 yo = 0.075 Kg Vapor/Kg aire seco (De tabla) con To y %HR

Calor esp. Sólido = 0.24 Kcal/Kg
 Cp H2O liq = 1 Kcal/Kg
 Cp H2O vap = 0.87 Kcal/Kg
 Masa Solido = 42 Kg
 magua4 = 6.39 Kg
 magua1 = 0.075 Kg
 magua2 = 2.21 Kg
 magua3 = 8.60 Kg

B E. Agua:

$$Q1 = \text{Hagua4} + \text{Hagua2} - \text{Hagua3} - \text{Hagua1}$$

$$Q1 = m_{\text{vapor}} \cdot C_{\text{pv}}(85-20) + m_{\text{agua2}} \cdot C_{\text{p}}(70-20) - m_{\text{agua3}} \cdot C_{\text{p}}(20-20) - m_{\text{agua1}} \cdot C_{\text{pv}}(145-20)$$

B E. Solido:

$$Q2 = m_{\text{sol}} \cdot C_{\text{ps}} \cdot (T2 - T3)$$

Calor Transferido Q1 = 463.83 Kcal/dia Calor Transferido al agua para vaporizarlo

Calor Transferido Q2 = 504 Kcal/dia Calor tranf. al solido para calentarlo

$$Q \text{ Total} = Q1 + Q2$$

Q total = 967.83 Kcal/dia Este calor es el que proporciona el aire caliente al proceso para secar el sólido que sale a 70°C.

3.12 APORTE:

El aporte más importante en el presente trabajo, es la presentación de un estudio preliminar (Balance de Masa y Energía) para un posterior diseño de equipo para la extracción del colorante a escala industrial a partir de datos experimentales, por ejemplo la concentración de sólidos totales en la salida de los procesos de extracción, base para la relación materia prima-colorante.

4.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- 1.- De los datos experimentales considerados, solo los sépalos (inflorescencia) de la kiwicha, contiene colorante, en tanto las semillas tienen un valor nutritivo que es utilizado como alimento.
- 2.- De acuerdo a las pruebas experimentales consideradas, el poder de disolución son: En partículas cuyo tamaño están en un orden de 10^{-3} m. Y cuya acidez es igual a un pH de 5.
- 3.- El mejor método de extracción es el de **lixiviación**, obteniéndose una concentración de sólidos de 3,58% de sólidos totales (datos experimentales).
- 4.- En cuanto a la purificación se encontraron excelentes resultados por medio de intercambio iónico con resina Dowex 50W, la cual eliminó 93,89 % de impurezas con un pH de 3 ;mientras que utilizando almidón al 0,3 %, la cual eliminó 88,9% de impurezas.
- 5.- En el secado por atomización el mejor resultado se obtuvo con el uso de C.M.C (Carboximetil Celulosa). Como vehículo de secado con un tamaño de partícula de $18,78 \times 10^{-3}$ m. Del mismo modo se reportó buenos resultados de secado usando Almidón gelatinizado como vehículo de secado, con un tamaño de partícula de $18,23 \times 10^{-3}$ m.
- 6.- El ácido cítrico es el más apropiado, debido a su acidez de pH=3,55 y el poder secuestrante de este ácido favorece la extracción del colorante.

RECOMENDACIONES

1. Dentro del proceso de adecuación de la materia prima es recomendable el humedecimiento de dicho material, en la relación de materia prima-solvente de 1/8.
2. En cuanto a la purificación y secado se recomienda usar el Almidón por el bajo costo que esto significa a la producción del colorante.
3. Por lo que recomendamos se tome interés en dicho proyecto, en este caso el Ministerio de Agricultura debe tomar interés en esta planta, dada sus múltiples aplicaciones a nivel industrial.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. BRENANN, J.G. HERRERA.(1971). Estudio de algunos de los factores concernientes al secado por roseada de jugo concentrado de naranja, a escala de laboratorio. Food Technology, 6 pp 306 U.S.A.
2. BRENANN, J. (1970) Operaciones de la Ingeniería de Alimentos. Edit. Acribia España.
3. HERRERA, F.L. (1940) La kiwicha. El comercio 29 set. Lima-Perú.
4. PIATELLI, M (1976). Chemistry And Biochemistry of Plant Pigment. Ed. By T.W. Good dwh. Vol. I PP 560 Italia.
5. VON ELBE, J.H. et al (1974). Coloe Stability of Betanines. Journal of Food Science Vol. 39 pp 334-336 U.S.A.
6. FRANCIA. (1961) Preparación y estudio químico bromatológico de las galletas nutritivas a base a harina de Achita y Trigo.
7. SUMAR (1982) Amaranthus Caudatus, el pequeño gigante. Departamento de Agricultura.
8. HERRERA (1960). La kiwicha .
9. PIATELLI (1975) Chemistry and Biochemistry of Plant Pigment