

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL**



**“ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA  
ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN  
DE COLOR CAMELO TIPO I A PARTIR DE  
SACAROSA”**

## **TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTADO POR:

MERCEDES YULIANA MILLA PASCACIO

LIMA – PERÚ

2014

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló con la finalidad de analizar y estandarizar un determinado proceso de elaboración de colorante caramelo, el cual es utilizado como insumo para productos de consumo masivo, elaborado por una empresa alimentaria. En dicho proceso, actualmente, el colorante caramelo se elabora de forma artesanal y durante su proceso intervienen muchos factores, los cuales contribuyen a la formación de una tonalidad de colorante distinta para cada lote, razón por la cual la empresa tiene la necesidad de adicionar un colorante importado mucho más concentrado y más costoso; variando y elevando de esta manera los costos de producción.

La presente investigación se enfoca en los parámetros tales como la temperatura, el tiempo de caramelización, la velocidad de calentamiento, la materia prima y las características de las marmitas utilizadas, los cuales son monitoreados y analizados, identificando las principales variables que intervienen a lo largo del proceso y los efectos esperados en el producto final debido a la variación de éstas; de esta manera dando la posibilidad de controlar las variables que ingresan al proceso, con la finalidad de uniformizar, con los mejores valores, las variables que salen de dicho proceso, lo cual garantice la calidad de los productos en resguardo del prestigio de la empresa y a su vez aumente la productividad.

Como resultado de la investigación, se logra plasmar una metodología de elaboración de colorante caramelo de la empresa; se obtiene que la temperatura, el tiempo y la velocidad de calentamiento, son los parámetros determinantes de las propiedades finales del colorante; además se halla que el poder tintóreo y la compatibilidad son las propiedades finales más sensibles frente a estos parámetros. A la vez se encuentra una relación directa entre la temperatura y el poder tintóreo, e inversa entre la temperatura y la compatibilidad; y una relación directa entre el tiempo y dichas propiedades finales. La evaluación de las variables, además, permite observar la necesidad de acoplar una válvula automática para el control de flujo másico

(variable a controlar: velocidad de calentamiento), y de esta manera se pueda tener un control sobre todas las variables de entrada identificadas como principales variables influyentes.

## ÍNDICE

## CAPÍTULO I

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Investigación del color caramelo.....	2
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Descripción de la realidad problemática.....	7
1.4. Formulación del problema.....	8
1.5. Hipótesis.....	8
1.6. Objetivos.....	9
1.7. Justificación.....	9
1.8. Delimitación.....	10

## CAPÍTULO II

<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>11</b>
----------------------	-----------

## CONCEPTOS GENERALES

2.1. Carbohidratos.....	12
2.1.1. Monosacáridos.....	13
2.1.2. Disacáridos.....	17

2.2. Caramelización.....	19
2.2.1. Generalidades.....	19
2.2.2. Factores que influyen en la caramelización.....	22
2.2.3. Reacciones de pardeamiento.....	23
2.3. Color caramelo.....	29
2.3.1. Colorimetría.....	29
2.3.2. Definición del color caramelo.....	30
2.3.3. Química del color caramelo.....	30
2.3.4. Tipos de color caramelo.....	31
2.3.5. Estabilidad entre el caramelo y la salsa a base de soya.....	32

### **CAPÍTULO III**

<b>DESARROLLO EXPERIMENTAL</b>	<b>33</b>
3.1. Metodología experimental.....	34
3.1.1. Tipo de investigación.....	34
3.1.2. Descripción del proceso.....	34
3.1.3. Identificación de variables.....	36
3.1.4. Diseño experimental.....	38
3.2. Materiales.....	41
3.3. Metodología de análisis.....	41
3.3.1. Caracterización de la materia prima.....	41
3.3.2. Caracterización del color caramelo como producto.....	46

## CAPÍTULO IV

<b>RESULTADOS</b>	<b>56</b>
1. Caracterización de la materia prima.....	56
2. Caracterización del colorante caramelo.....	57
4.1. Determinación de las variables dependientes.....	57
4.2. Determinación de las variables independientes.....	72
4.3. Relación de dependencia de variables.....	82
4.4. Resumen de caracterización.....	94
3. Guía de elaboración de colorante caramelo.....	97
4.1. Instructivo.....	97
4.2. Procedimiento.....	100
4.3. Seguridad.....	102

## CAPÍTULO V

<b>ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO</b>	<b>103</b>
5.1. Estudio técnico.....	104
5.2. Análisis de costos de la implementación del proceso.....	110
5.2.1. Cuantificación de los beneficios.....	110
5.2.2. Costos de implementación del proyecto.....	114
5.2.3. Viabilidad financiera del proyecto.....	115
5.2.4. Análisis de los resultados obtenidos.....	124

**CAPITULO VI**

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>125</b>
6.1. Conclusiones.....	126
6.2. Recomendaciones.....	128
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>129</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>133</b>
<b>ANEXO A:</b> PROCESO DE ELABORACIÓN DE AZÚCAR BLANCA REFINADA.....	134
<b>ANEXO B:</b> DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE SULFITOS EN AZÚCAR.....	138
<b>ANEXO C:</b> CUADROS DE RESULTADOS DETALLADOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS A LA MATERIA PRIMA.....	143
<b>ANEXO D:</b> OBSERVACIONES DEL ANÁLISIS CUALITATIVO EN LA FORMACIÓN DE PRECIPITADO COMO INDICADOR DEL PUNTO ISOELÉCTRICO.....	147
<b>ANEXO E:</b> DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CONSUMO DE GAS EN EL PROCESO DE CARMELIZADO.....	150
<b>ANEXO F:</b> MODELO DE FICHA TÉCNICA DEL COLORANTE CAMELO KIKKO PARA UNA POSIBLE COMERCIALIZACIÓN.....	152
<b>ANEXO G:</b> ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS DEL PROCESO PRODUCTIVO.....	155

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Investigación del color caramelo**

El color es la primera sensación que se percibe de un alimento, y la que determina el primer juicio sobre su calidad. Es también un factor importante dentro del conjunto de sensaciones que aporta el alimento, y tiende a veces a modificar subjetivamente otras sensaciones como el sabor y el olor [3].

Los alimentos naturales tienen su propio color, por lo que en principio sería ideal su permanencia a lo largo del proceso de transformación. Pero al no ser así, y para hacerlos más atractivos a la identificación visual del consumidor, debe aplicarse colorantes.

La distinción entre colorante natural y colorante artificial, términos muy utilizados en las polémicas sobre la salubridad de los alimentos, es de difícil aplicación cuando se quiere hablar con propiedad de los colorantes alimentarios. En sentido estricto, solo sería natural el color que un alimento tiene por sí mismo. Esto puede generalizarse a los colorantes presentes de forma espontánea en otros alimentos y extraíbles de ellos, pero puede hacer confusa la situación de aquellas sustancias totalmente idénticas pero obtenidas por síntesis química. También la de colorantes obtenidos de materiales biológicos no alimentarios, por ejemplo insectos, y la de aquellos que pueden añadirse o formarse espontáneamente al calentar un alimento, como es el caso del caramelo [5].

El color caramelo es un agente colorante alimenticio de color marrón oscuro, que desde hace mucho tiempo ha sido utilizado en una gran cantidad de productos en la Industria Alimenticia, Industria de Cosméticos, Industrias Farmacéuticas, entre otras. Los mayores consumidores de este colorante son las Industrias Cerveceras y las de bebidas oscuras, tales como Coca Cola y Pepsi. Es el colorante típico de las bebidas de cola, así como de muchas bebidas alcohólicas, como ron, coñac, etc. También se utiliza en la repostería, en la elaboración del pan de centeno, en la fabricación de caramelos, helados, postres, sopas preparadas, conservas y diversos productos cárnicos [30].

El colorante caramelo es el más utilizado en la industria alimentaria, representando más del 90% del total de todos los añadidos [28].

En este contexto KIKKO Corporation S.A., es una empresa del rubro de Alimentos que produce una línea de sazonadores y tiene como uno de sus ingredientes fundamentales al colorante caramelo Tipo I, el cual es obtenido de manera artesanal a partir de sacarosa, desde la creación de la empresa.

## **1.2. Antecedentes**

La caramelización de azúcar para producir un tono coloreado en casa, ha sido practicada por siglos.

La aplicación comercial del proceso de caramelización para preparar comidas coloreadas, se inicia en Europa a mediados del siglo XIX. Originalmente, el color caramelo fue producido por simple pardeamiento de azúcar sobre el pan.

Como el uso del color caramelo se generalizó, se introdujeron modificaciones en la manufactura de los procesos de producción, con la finalidad de atribuir especificaciones en función de la aplicación final.

El color caramelo fue preparado y comercializado inicialmente en los Estados Unidos en 1863, donde fue el punto de comercio por muchas décadas antes de la regularización de su uso [4].

Esto no fue hasta 1940 que la Food and Drug Administration (FDA) comenzó a regular el color caramelo. Dicho año la Agencia emitió una regla prohibiendo que el color caramelo sea etiquetado solo como “Colorante de azúcar quemada” o “Adicionado de Color Caramelo” o “Coloración Caramelo”, sino con especificaciones de su contenido. Esto fue el primer paso para dar a conocer las clases de color caramelo que eran comercializadas. La FDA hizo varias publicaciones durante la década de los 40’, resolviendo finalmente que el color caramelo era un colorante inofensivo [4].

En el Reino Unido, la primera evaluación fue en 1923 a cargo de un comité nombrado por el primer Ministro de Salud. El cual prohibió el uso de una lista de colorantes (en la cual se encontraba el color caramelo); y durante 30 años se consideró tóxico a los colorantes. En 1954 el “Comité de Estándares de Alimentos” del Ministerio de Alimentos, rectificó la lista de colorantes como inofensivas para la salud. En ésta, el color caramelo fue designado como un colorante natural, aprobado para el uso en comidas [4].

En 1958 Food Additives Amendment confirmó la aprobación del FDA con respecto al uso del colorante caramelo. Dicho colorante fue incluido en la lista de "Sustancias Reconocidas Generalmente como Seguras". En 1989 Code of Federal Regulations (CFR), a través de publicaciones, informa sobre las especificaciones de los 4 tipos de color caramelo.

La Commission of The European Communities (EEC), en 1962 listó al color caramelo (E 150) como un producto hecho exclusivamente por calentamiento de sacarosa u otra azúcar. La Joint FAO / WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) en 1970 concluye que, con excepción del caramelo preparado por el proceso usando amoníaco o sales amoniacales, el color caramelo es un constituyente natural de la dieta y aceptable como aditivo.

Una diferente clasificación fue propuesta por Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (MAFF), después de consultar con British Caramel Manufacturers' Association (BCMA). Este sistema, lejos de subdividir las tres clases (publicada por Joint FAO/WHO, experto del comité de aditivos para alimentos-JECFA) en 1978; citó en total seis diferentes tipos: uno cáustico, dos procesos amoniacales y tres procesos sulfito amoniacal. En 1979 International Technical Caramel Association (ITCA) propuso una clasificación de 4 clases.

El JECFA tiene por propuesta 10 tipos de caramelos de las cuales en 1985 reconoce solo 4 clases de color de caramelo [4].

El Panel Científico de Aditivos Alimenticios y Fuentes de Nutrientes (ANS, por sus siglas en inglés) de la Autoridad de Seguridad Alimenticia Europea (EFSA), ha evaluado la seguridad del grupo de colores caramelo autorizados para su uso en alimentos en la Unión Europea. El panel revisó la Ingesta Diaria Recomendada (ADI, por sus siglas en inglés) establecidas previamente para estos colores y estableció un grupo de ADI para todos los colores. Este trabajo es parte de la revaloración de la EFSA de los colores actualmente utilizados en la Unión Europea [4].

Con base a la información disponible, el Panel concluyó que los colores caramelo no son peligrosos para la salud humana. Dado sus propiedades similares, el Panel estableció un grupo de ADI de 300 mg por kilogramo de peso corporal al día (mg/kg bw/día) aplicable a los cuatro colores, no obstante, para uno de éstos, el caramelo E150c, el panel estableció un ADI

de 100 mg/kg bw/día de color caramelo con 200 ppm de 4MEI (4 Methylimidazol) en 1983 [15].

El 9 de marzo del 2012, Coca-Cola y Pepsi anunciaron que cambiarían las fórmulas de sus bebidas gaseosas en Estados Unidos para evitar tener que colocar en sus productos una advertencia de riesgo de cáncer. La medida surge después de que el estado de California incluyera en su lista de agentes cancerígenos a un componente del colorante caramelo utilizado en estas bebidas. Se trata del 4-metilimidazol (4-MEI), el cual se forma durante el proceso de producción industrial del caramelo, el color marrón de las colas, debido a la reacción de los azúcares con el amoníaco. Estudios con ratones y ratas han vinculado al 4-MEI, y a otro compuesto que resulta también de esta reacción, el 2-metilimidazol, con un mayor riesgo de varios tipos de cáncer, incluido leucemia, pulmonía y tiroides, en los animales. Hasta ahora no ha habido estudios concluyentes sobre el riesgo en humanos. Pero en febrero de 2011, el Centro para la Ciencia en el Interés Público (CSPI) de Estados Unidos, un organismo ciudadano basado en Washington, presentó a la Administración de Alimentos y Fármacos (FDA) de ese país, una solicitud para prohibir estos compuestos en todos los productos alimenticios. La FDA resolvió posteriormente incluir el 4-MEI a su lista de agentes químicos "conocidos por el Estado por causar cáncer". Y el organismo decidió que el límite de consumo seguro diario debía ser de menos de 16 ug (microgramos). Un estudio del Programa Nacional de Toxicología presentado por el CSPI, afirmó que una botella de bebida de cola de 340 ml contiene 130 ug de 4-MEI (ocho veces el límite de seguridad recomendado) [28].

No concluyente, los propios estudios de la FDA, sin embargo, concluyeron que aunque existe "evidencia clara" de que el 4-MEI causa cáncer en ratones, los estudios en ratas son menos claros porque se vieron "incrementos significativos" en leucemia en las hembras pero no se vio un aumento de tumores en los machos. Tampoco encontraron una conclusión clara con el 2-MEI.

Cuando la petición para prohibir los colorantes fue presentada, la Asociación Estadounidense de Productores de Bebidas, que representa a toda la industria, expresó que "*ninguna agencia reguladora en el mundo, incluida la FDA, ha dicho que el 4-MEI es un cancerígeno en humanos*". Además

aseguró que *"una persona debería tomar más de 2,900 latas de bebida cola por día durante 70 años para replicar los resultados del único análisis que mostró un posible riesgo de cáncer"*. Y agregó que la petición del CSPI no era más que *"otro intento para asustar a los consumidores, que no está apoyado por la ciencia"*. Ahora, tras el anuncio de Coca-Cola y Pepsi, la Asociación expresó que sus miembros continuarán utilizando colorantes en algunos de sus productos pero se harán ajustes para cumplir las nuevas normas de California [21].

El color caramelo a través del tiempo ha sido clasificado según la complejidad de su composición final, teniendo como consecuencia mayores restricciones al presentar compuestos con cierto grado de riesgo para la salud, por lo cual es importante en la actualidad el uso del colorante caramelo más simple (Tipo I), debido a esto las industrias alimentarias optan por aplicar éste tipo de colorante a pesar del bajo poder tintóreo que proporciona dicho tipo, iniciando así la búsqueda del proceso que optimice los resultados de poder tintóreo.

#### **Estudios del proceso de Elaboración:**

En 1964, Corn Products Company [6] en España, financió una patente de invención cuyo tema fue *"Procedimientos para preparar color caramelo para colorear productos alimenticios"* la cual trata sobre una de las principales desventajas de un procedimiento discontinuo. El tiempo requerido para la caramelización es uno de ellos, que puede variar desde 3 a 7 horas, según la calidad de color caramelo deseado. Cuando se usa un recipiente tipo abierto, el tiempo puede ser mayor. Según esto, el número de lotes y, así, la producción diarias son limitadas. La formación de cuerpos coloreados en el proceso, está acompañada por una evolución de calor rápida y violenta, por lo que es difícil controlar la temperatura si se eleva por encima de aproximadamente 140°C, esto es, evitar que se eleve hasta el punto en que hay sobre cocimiento o incluso destrucción total del color caramelo. Por esta razón, la mayoría de los operadores prefieren, con objeto de evitar esta dificultad de operación, efectuar la caramelización a la temperatura más baja posible. Pero ésta, a su vez, tiene como resultado tiempos prolongados de

cocimiento que requieren la atención constante del operador, y además en algunos casos, está la responsabilidad de añadir el reactivo en el momento adecuado. Y todo esto trae como consecuencia que la calidad del color caramelo varía de lote en lote, según la habilidad del operador u operadores y el tipo de equipo utilizado, incluyendo controladores. Por lo cual plantea un enfriamiento a través de un intercambiador de calor tipo coraza-tubos, para un sistema cerrado y continuo.

Calderón P. y Cahuaranga D. [2], (2001) evaluaron el tipo de colorante más apropiado para sazonadores (específicamente para el siyau) con la finalidad de evitar la formación de sólidos en el producto final. El título del estudio fue “Preparación de caramulina para uso de sazonadores”, desarrollado en la Facultad de Ingeniería Química y Textil – Universidad Nacional de Ingeniería. Obteniendo como resultado que el color caramelo Tipo IV posee un mayor poder tintóreo y es más compatible con el producto final (Siyau), por lo tanto es el más adecuado para colorear dicho producto.

### **1.3. Descripción de la realidad problemática**

El color caramelo por definición científica es un material colorante de composición compleja y químicamente no bien establecida, obtenida por calentamiento de un azúcar comestible (sacarosa y otros), solo o mezclado con determinadas sustancias químicas, su composición depende del método preciso de fabricación.

En la presente tesis, el colorante caramelo es obtenido por pirolisis de azúcar blanca refinada (sacarosa). El colorante a preparar se trata del color caramelo Tipo I (sin catalizadores) y sin aditivos que intensifiquen su color.

En la actualidad, en la planta, el proceso se realiza de manera artesanal y consiste en un sistema abierto a presión atmosférica, en donde no se controla la temperatura.

El tiempo total del proceso de elaboración del color caramelo puede variar de 4 a 6 horas dependiendo del control visual del operario, basado en el aspecto físico del caramelo a lo largo del proceso y cuya experiencia le permite dar fin a dicho proceso, lo que trae como consecuencia variaciones en la intensidad

de color de cada lote de colorante; todo lo cual sale a relucir en los análisis físico-químicos realizados a las muestras de colorante.

Para el calentamiento del sistema se utiliza como combustible gas natural, cuyo flujo es controlado por una válvula regulada por el operario.

La agitación es realizada de forma manual cada cierto tiempo, con la finalidad de homogenizar el calentamiento y evitar que el exceso de espuma supere la capacidad de la marmita, durante el proceso y al final del mismo.

Todos estos factores contribuyen a una tonalidad resultante distinta para cada lote de colorante, razón por la cual la empresa tiene la necesidad de adicionar un colorante importado mucho más concentrado, y más costoso, para alcanzar así el estándar comercial; y cuyo volumen adicionado varía según la intensidad que aún necesita el siyau, por lo cual se cuenta con un stock de dicho colorante en el almacén de la empresa. Elevando de esta manera los costos de producción.

#### **1.4. Formulación del problema**

Uniformizando los resultados del color caramelo se puede eliminar el stock por exceso. Además de proporcionar un costo mensual constante. Y hallando los valores de los parámetros que uniformicen en los mejores resultados obtenidos, se puede lograr un efecto positivo en la reducción de costos y por lo tanto en la productividad de la empresa.

En base a lo descrito, se busca entonces hallar experimentalmente: **¿Cuál es el conjunto de parámetros que intervienen en el proceso de elaboración de colorante caramelo y cuáles son los valores que uniformizan el proceso?**, a través de los cuales se pueda tener un control en los resultados obtenidos del producto final.

#### **1.5. Hipótesis:**

Es posible hallar los parámetros que intervienen en el proceso de caramelización, a través de sus variaciones y los cambios que causan en las propiedades finales más sensibles del colorante caramelo. Es posible hallar

los mejores valores uniformes de los parámetros que intervienen en dicho proceso.

## **1.6. Objetivos**

### **Objetivo general**

- Uniformizar el proceso de elaboración del colorante caramelo Tipo I a partir de sacarosa.

### **Objetivos específicos**

- Caracterizar la materia prima.
- Analizar y determinar el tiempo de caramelización en el proceso de elaboración del color caramelo Tipo I.
- Definir la temperatura del proceso para la obtención del color caramelo.
- Determinar la velocidad de calentamiento más adecuado a través de la abertura de la válvula de gas.
- Caracterizar el colorante caramelo KIKKO.
- Analizar la influencia de la agitación en el proceso de elaboración del colorante.
- Resaltar los mejores resultados obtenidos del poder tintóreo del color caramelo en función a la influencia de los parámetros evaluados previamente.

## **1.7. Justificación**

KIKKO Corporation S.A., es una empresa que produce una línea de sazonadores tales como: Siyau, Vinagre, Salsa Wantan, Salsa Mensi, Ajoikion, Shoyu y pastas a base de soya fermentada.

La producción de KIKKO Corporation S.A. consiste en gran medida, en Salsa de Soya o Sazonador de Soya (siyau) aplicando el método de añejamiento natural a gran escala con estrictos controles de calidad, haciendo uso del colorante caramelo como principal ingrediente del producto final.

Por lo anterior la empresa KIKKO Corporation S.A. cuenta con un laboratorio de Control de Calidad en el cual se realizan análisis a la materia prima, productos en proceso y productos terminados, garantizando la calidad de dichos productos.

La exigencia de calidad en los productos alimenticios por parte del consumidor obliga a las empresas de este rubro a ofrecer productos competitivos de calidad estandarizada con normas internacionales, debido a esto existe la necesidad en la empresa KIKKO Corporation S.A., de obtener un color caramelo Tipo I que garantice la calidad de los productos que ofrece, y a la vez, que el proceso represente un óptimo consumo de materia prima, lo cual se manifieste en un aumento de productividad.

### **1.8. Delimitación**

La recopilación de datos experimentales del presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la empresa KIKKO Corporation S.A., la cual se encuentra ubicada en el distrito de Ate Vitarte en el departamento de Lima, durante un periodo de 10 meses.

El proceso de elaboración de colorante caramelo Tipo 1 a partir de sacarosa (azúcar blanca refinada) y el monitoreo de las variables que intervienen en el sistema en estudio, tienen lugar en la Planta de la empresa, y dichos lotes monitoreados son utilizados en la producción diaria a nivel industrial. Así como también el análisis de la materia prima que ingresa al proceso, los análisis de las muestras resultantes del proceso y el seguimiento de la compatibilidad de cada lote de colorante con el licor de siyau; todos estos análisis tienen lugar en el Laboratorio de Control de Calidad de la misma empresa.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

## CONCEPTOS GENERALES

### 2.1. Carbohidratos [7]

Los carbohidratos, glúcidos o hidratos de carbono, son biomoléculas ternarias, relativamente simples constituidas de carbono, hidrógeno y oxígeno, pero también pueden presentar otros elementos.

Desde el punto de vista químico, los carbohidratos son aldehídos o cetonas polihidroxilados, o productos derivados de ellos por oxidación, reducción, sustitución o polimerización.

Estas biomoléculas son las más abundantes en la naturaleza, principalmente de origen vegetal, los carbohidratos proceden de la actividad fotosintética de los vegetales. Son éstas biomoléculas, la base de todo el equilibrio trófico o alimenticio de la materia viva.

En la presente se trata de un grupo específico de carbohidratos, este importante grupo de biomoléculas ha recibido, entre otros, los siguientes nombres:

**Sacáridos:** de la palabra latina que significa azúcar, aunque el azúcar común es uno sólo de los centenares de compuestos distintos que pueden clasificarse en este grupo.

**Azúcares:** este término sólo puede usarse para los monosacáridos (aldosas y cetosas) y los oligosacáridos inferiores (disacáridos). En singular (azúcar) se utiliza para referirse a la sacarosa o azúcar de mesa.

**Glúcidos o glícidos:** (de la palabra griega que significa dulce), pero son muy pocos los que tienen sabor dulce. Estos términos se suelen emplear indistintamente, pero cuando se utilizan como prefijos, se aconseja el término glico- para referirse a carbohidratos en general (por ejemplo, glicoproteína) y gluco- para el caso concreto de la glucosa (por ejemplo, gluconeogénesis).

Atendiendo a su estructura, los carbohidratos se pueden clasificar en 2 grupos como se observa en la figura 2.1.

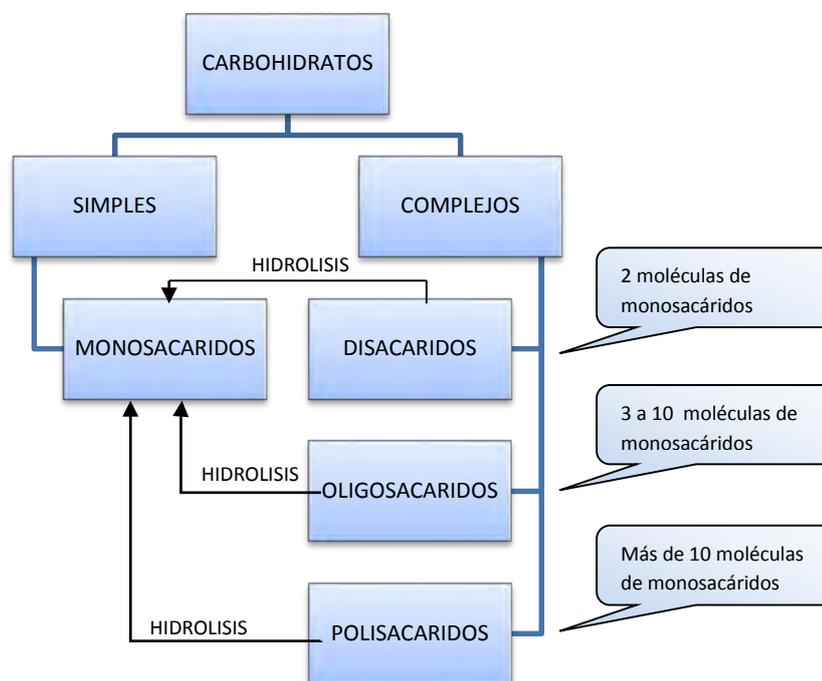


Figura 2.1: Diagrama de flujo de distribución de los carbohidratos  
Fuente: Ponce, 2005.

### 2.1.1. Monosacáridos [1]

Los monosacáridos simples son aldehídos o cetonas polihidroxilados. Los monosacáridos con función aldehído se llaman aldosas y los monosacáridos con función cetona se llaman cetosas.

Con la excepción de la dihidroxiacetona, en todos los monosacáridos simples hay uno o varios carbonos asimétricos. En el caso más sencillo, el del gliceraldehído, hay un centro de asimetría, lo que origina dos configuraciones posibles: los isómeros D y L.

Los monosacáridos existen comúnmente como isómeros, es decir son moléculas que tienen la misma fórmula general y empírica, no obstante la fórmula estructural de las moléculas es muy diferente con propiedades químicas muy distintas; por ejemplo, la glucosa y la fructosa tienen la misma fórmula  $C_6H_{12}O_6$  puesto que contienen los mismos átomos en las mismas proporciones, pero las fórmulas estructurales para indicar el ordenamiento

espacial de las partes es muy diferente, así mismo, el sabor de la glucosa ni se aproxima al sabor de la fructosa que es el monosacárido más dulce.

### **Propiedades:**

En forma sólida son de color blanco, cristalino, muy soluble en agua e insoluble en disolventes no polares, debido a que los hidroxilos son grupos muy polares y atraviesan fácilmente las membranas biológicas.

La mayoría poseen un sabor dulce y son los azúcares más sencillos: los aldehídos (aldosas) o cetonas (cetosas) con dos o más grupos hidroxilo.

Los monosacáridos debido a que presentan uno o varios carbonos asimétricos, tienen la posibilidad de formar numerosas configuraciones ópticas espaciales en la cadena hidrocarbonada originando los estereoisómeros (son imágenes especulares “en un espejo”, una idéntica de la otra), la más frecuente son, D y L, por sus configuraciones espaciales, derecha a izquierda (D por dextro =derecha y L por Levo = izquierda).

La presencia de carbonos asimétricos en los monosacáridos les confiere la propiedad de desviar el plano de luz polarizada. Se dice que estos compuestos son ópticamente activos.

La actividad óptica se mide mediante un instrumento llamado polarímetro. El ángulo de giro de la luz polarizada (poder rotatorio) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\alpha = [\alpha]_D^{20} \cdot c \cdot l \quad (2.1)$$

Dónde:

$\alpha$  : es el poder rotatorio (ángulo de giro medido experimentalmente)

$[\alpha]_D^{20}$  : es el poder rotatorio específico de cada azúcar, medido a 20° C

c : es la concentración del azúcar, en g/mL

l : es la longitud del tubo del polarímetro, en dm

Los compuestos que desvían el plano de luz polarizada hacia la derecha se llaman dextrógiros o dextro rotatorios, y esa característica se indica anteponiendo el signo (+) al nombre del compuesto. Los compuestos que desvían el plano de luz polarizada hacia la izquierda se llaman levógiros o

levo rotatorios, y esa característica se indica anteponiendo el signo (-) al nombre del compuesto.

Los prefijos D y L (que indican la posición del OH del penúltimo carbono en la representación de Fischer) no tienen nada que ver con los signos (+) y (-) (que indican el carácter dextro/levo rotatorio de la molécula). Da la casualidad de que el D-gliceraldehído es dextrógiro (D-(+)-gliceraldehído) y de que el L-gliceraldehído es levógiro (L-(-)-gliceraldehído), pero existen compuestos que pertenecen a la serie D y que son levógiros, como la D-(-)-fructosa.

Entre los monosacáridos más importantes para el presente estudio, se tiene:

#### **a) Glucosa**

La glucosa es un monosacárido con fórmula molecular  $C_6H_{12}O_6$ . La representación de la glucosa en proyecciones lineales como la de Fischer no explica todas las características químicas de la glucosa. En primer lugar, la glucosa no da todas las reacciones propias de los aldehídos, y en segundo lugar, presenta libre su carbono anomérico, y por lo tanto seguirá teniendo propiedades reductoras, es decir las disoluciones de D-glucosa presentarán el fenómeno llamado mutarrotación. Cuando se disuelve en agua la D-glucosa cristalina su poder rotatorio varía gradualmente con el tiempo, hasta alcanzar un valor estable ( $+52,5^\circ$ ). Este fenómeno se llama mutarrotación.

El enlace hemiacetalico crea un nuevo centro de asimetría en el carbono anomérico, con lo que cada molécula en forma abierta puede originar dos tipos de formas cerradas (como se ve en la figura 2.2), que serán epiméricas en el carbono hemiacetalico. Estos epímeros reciben el nombre de anómeros. Se distinguen los anómeros  $\alpha$  y  $\beta$ , en función de que la configuración del carbono anomérico.

#### **b) Fructosa**

La fructosa es una hexosa y una cetosa, es decir, tiene seis carbonos y un carbonilo de tipo cetona. Es el más dulce de los monosacáridos, tiene la misma composición química de la glucosa, pero con un grupo cetona ( $C = O$ ) en el carbono 2, en lugar del grupo aldehído. Este azúcar se origina por el

desdoblamiento de la sacarosa (disacárido) y en el organismo se puede transformar en glucosa.

La fructosa, como su nombre indica, se encuentra presente en las frutas. También es muy abundante en la miel. Se obtiene industrialmente por isomerización enzimática de la glucosa con el enzima glucosa isomerasa, utilizado generalmente en forma inmovilizada. Dado que la isomerización glucosa - fructosa es un equilibrio, se obtiene una mezcla con, en el mejor de los casos, un 42% de fructosa. Los jarabes mezcla de glucosa y fructosa reciben a veces comercialmente el nombre de "isoglucosa", engañoso e incorrecto. La mezcla de glucosa y fructosa se fracciona por cromatografía a gran escala. La fructosa pura obtenida así se comercializa generalmente como polvo cristalino.

En principio, podría obtenerse un producto semejante (con el 50% de fructosa) por hidrólisis de la sacarosa. Este producto se obtenía de hecho, y se comercializaba con el nombre de "azúcar invertido", hasta el desarrollo de los métodos de producción de fructosa a partir de glucosa, que lo han desplazado totalmente desde el punto de vista económico.

La fructosa es un azúcar muy interesante para la industria, dado que, aunque su precio es superior al de la glucosa, esto se compensa en parte por su mayor poder edulcorante, superior incluso al de la sacarosa. Además, el dulzor de la fructosa incorpora una nota "fresca", que lo hace particularmente apreciado

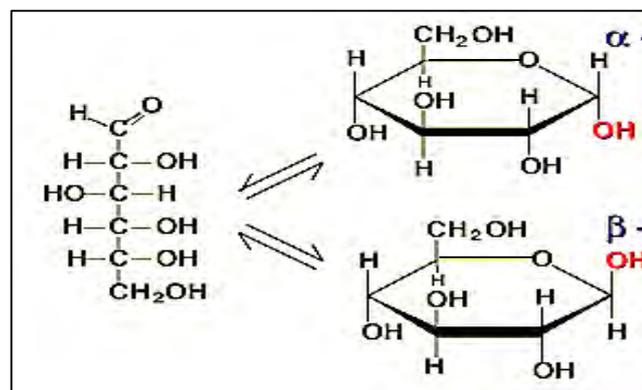


Figura 2.2: Proyección de Fischer y de Haworth de la glucosa  
Fuente: Ponce, 2005.

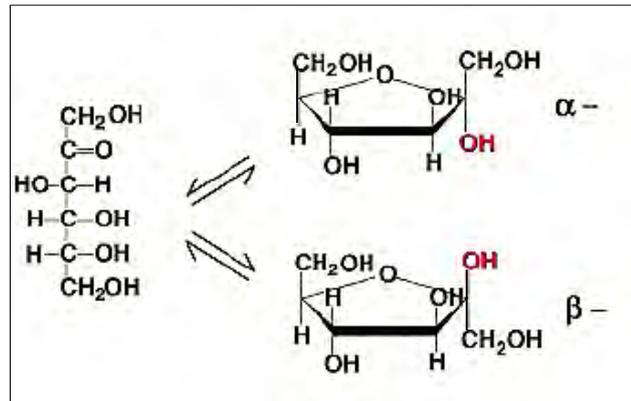


Figura 2.3: Proyección de Fischer y de Haworth de la fructosa  
Fuente: Ponce, 2005.

### 2.1.2. Disacáridos [1]

Cuando el enlace glucosídico se forma entre dos  $-OH$  de dos monosacáridos (Figura 2.4), el holósido resultante recibe el nombre de disacárido. Esta unión puede tener lugar de dos formas distintas: **reductores** (presentan un  $-OH$  anomérico libre) y **no reductores** (no presentan ningún  $-OH$  anomérico libre).  
Figura 2.5

- En el primer caso, el carbono anomérico de un monosacárido reacciona con un  $OH$  alcohólico de otro. Así, el segundo azúcar presenta su carbono anomérico libre, y por lo tanto seguirá teniendo propiedades reductoras, y presentará el fenómeno de la mutarrotación. Los disacáridos así formados se llaman disacáridos reductores.
- En el segundo caso, el carbono anomérico de un monosacárido reacciona con el carbono anomérico del otro monosacárido. Así se forma un disacárido no reductor, donde no queda ningún carbono anomérico libre y no podrá presentar mutarrotación. En este caso, el enlace no es, estrictamente hablando, acetálico. Ejemplos son la sacarosa y la trehalosa.

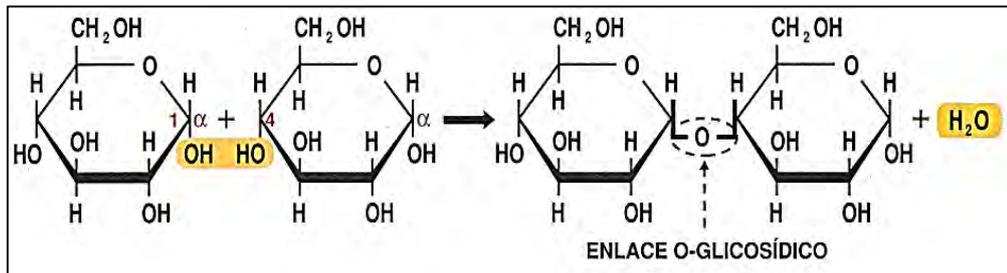


Figura 2.4: Formación del enlace glucosídico  
Fuente: Ponce, 2005.

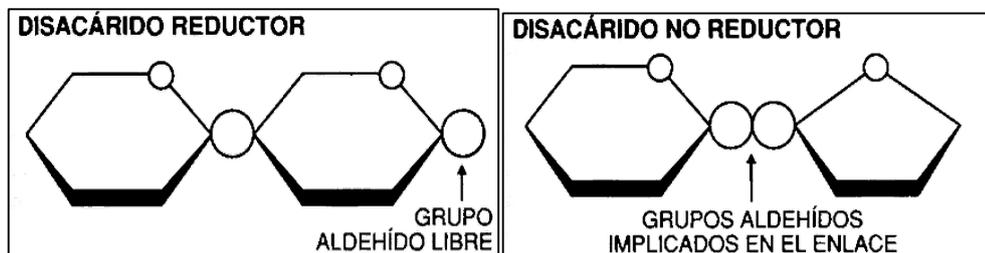


Figura 2.5: Enlace de un disacárido reductor y no reductor  
Fuente: Ponce, 2005.

#### a) Sacarosa [27]

La sacarosa es el azúcar común o azúcar de caña. Está compuesta por una unión de dos moléculas, una de glucosa y una de fructosa mediante una unión alfa 1-2, la más lábil de las uniones de los hidratos de carbono que son separadas o hidrolizadas solo con calor. Al estar formada por una glucosa y una fructosa unidas ambas por sus carbonos anoméricos, es por tanto un disacárido no reductor.

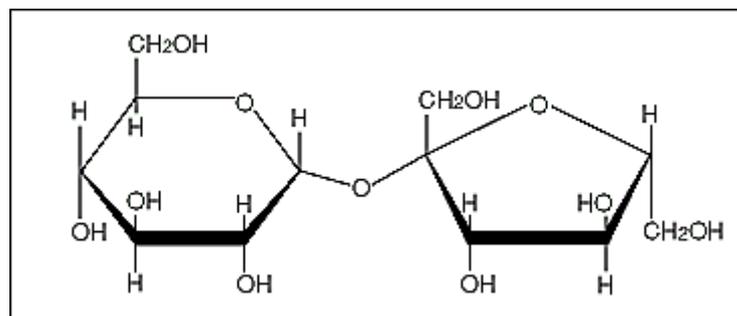


Figura 2.6: Fórmula desarrollada de la sacarosa  
Fuente: Ponce, 2005.

## 2.2. Caramelización

### 2.2.1. Generalidades [9]:

La caramelización es la oxidación del azúcar; a medida que el proceso ocurre, se liberan compuestos químicos volátiles, produciendo el característico sabor acaramelado. Como la reacción de Maillard, la caramelización es un tipo de dorado no enzimático. Sin embargo, a diferencia de ésta, la caramelización es una pirólisis, en contraposición a una reacción con aminoácidos.

El azúcar, la sacarosa ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ , disacárido compuesto por los dos monosacáridos: glucosa y fructosa) es inodora.

Cuando se calienta se produce un cambio de fase mediante la fusión que da lugar a un jarabe espeso; esto se produce a  $154^{\circ}C$ . Cuando se llega a  $168^{\circ}C$ , comienza a adquirir un color ligeramente ámbar, el sabor dulce inicial se enriquece y, progresivamente el color se transforma en marrón oscuro, al mismo tiempo que se desarrolla un aroma muy agradable al olfato. Cuando se llega a ese punto ya se han generado más de 100 productos distintos. Si se continúa calentando, elevando la temperatura, el cambio último es la carbonización (de color negro) y la desintegración total del azúcar, transformándose el sabor dulce inicial en amargo.

Cuadro 2.1: Temperaturas de caramelización

Azúcar	Temperatura
Fructosa	$110^{\circ}C$
Glucosa	$160^{\circ}C$
Sacarosa	$160^{\circ}C$

Fuente: Fonseca, 1985.

Las reacciones más importantes que se dan en la caramelización son: la hidrólisis y deshidratación de azúcares, isomerización y esencialmente la formación de muchos polímeros.



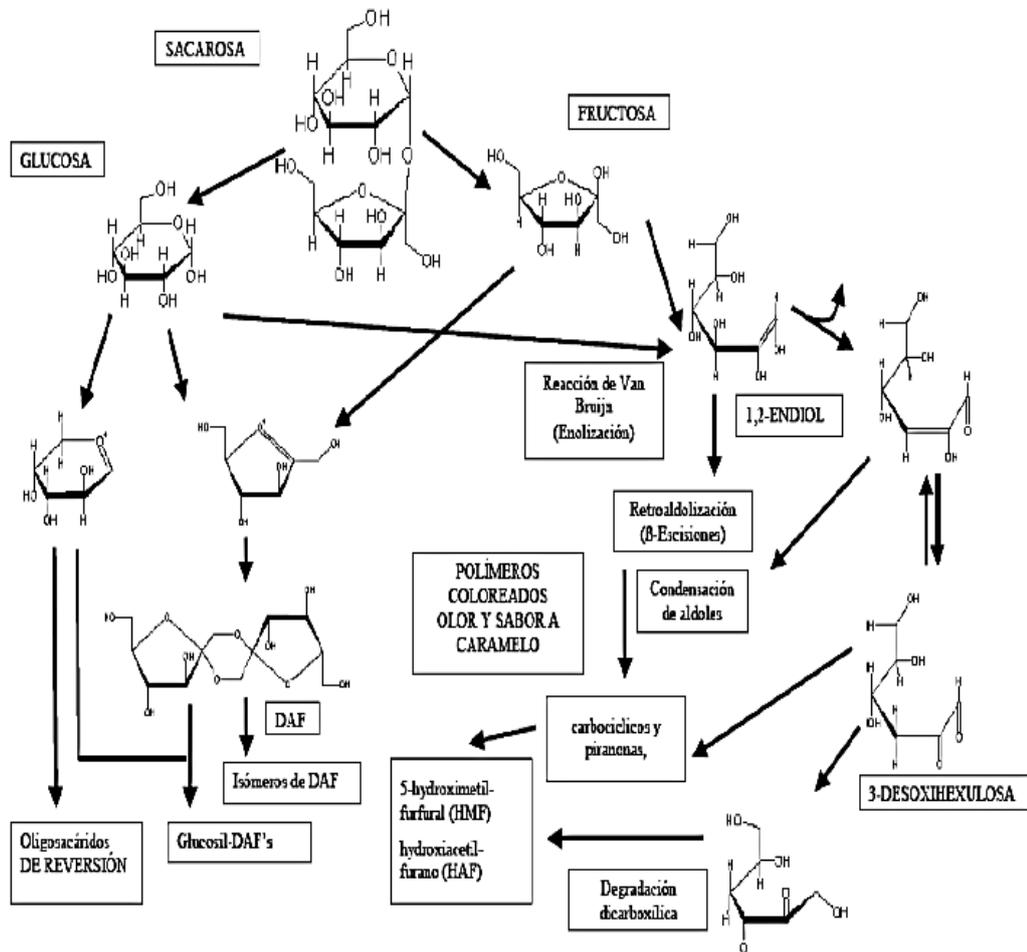


Figura 2.8: Desarrollo molecular de la caramelización  
Fuente: Fennema, 2000.

Como consecuencia de la inestabilidad térmica de los azúcares aparecen dos grupos diferentes de compuestos:

Compuestos de bajo peso molecular, formados por deshidratación y ciclación; constituyen entre el 5-10% del total y entre ellos se encuentran carbocíclicos y piranosas, muchos de ellos volátiles y responsables del olor y sabor típicos del caramelo. También aparecen hidroximetil-furfural (HMF) e hidroxiacetil-furano (HAF) que al polimerizar dan los colorantes característicos.

Polímeros de azúcares de tipo muy variado y complejo; forman entre el 90-95% del total y en su mayoría son polidextrosas, oligosacáridos de glucosa.

Sin embargo los productos más abundantes de la caramelización son los dianhídridos de fructosa (DAF) o mixtos de fructosa y glucosa.

Las propiedades funcionales del color caramelo tales como la intensidad de color, estabilidad y emulsificación, son determinados por la composición química final, y la composición es determinada por los reactantes.

Debe cuidarse mucho el rango de temperatura pues un incremento mayor de 170°C, produce compuestos amargos, producto del inicio de la carbonización.

### 2.2.2. Factores que influyen en la Caramelización [13]

- Calidad de la materia prima
- Presencia o ausencia de ácidos (aún en pequeñas cantidades)
- Temperatura
- Transmisión de calor
- pH

Todos estos factores son determinantes para lograr distintos componentes y composiciones, dando a cada uno de ellos el sabor y las características distintivas (tanto en las fracciones polimerizadas como en las volátiles).

La presencia de sulfitos en el azúcar de caña afecta la **calidad de la materia prima**, pues los sulfitos son las sales o ésteres del ácido sulfuroso  $\text{H}_2\text{SO}_3$ . Las sales de sulfito contienen el anión  $\text{SO}_3^{2-}$ , siendo los más importantes el sulfito sódico y el sulfito de magnesio. Se forman al poner en contacto el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) con disoluciones alcalinas. Se trata de sustancias reductoras pasando el azufre del estado de oxidación +4 a +6. En disoluciones ácidas se descomponen liberando de nuevo dióxido de azufre [17].

En la elaboración de azúcar de caña (Anexo A) se realiza un proceso conocido como sulfitación y consiste en la adición de  $\text{SO}_2$  al jugo mezclado para conseguir los siguientes objetivos:

- Retirar las sustancias no identificadas como azúcares y los sulfatos cálcicos por reacciones de precipitación para conseguir azúcar de

color blanco. Además el sulfato cálcico forma cristales gruesos que son una excelente ayuda filtrante.

- Reducir el ión férrico a ferroso, lo que disminuye el efecto catalizador del primero en las reacciones de oxidación de azúcares reductores y polifenoles que producen compuestos coloreados.

Con el aumento de **temperatura**, pueden iniciarse las reacciones de caramelización o pueden ser intensificadas; por lo tanto el enfriamiento las inhibirá. Pero a veces, el propio aumento de la temperatura puede causar que los mismos componentes o primeros productos interactúen por otros mecanismos que inhiban la reacción. La sacarosa es inerte a bajas temperaturas, pero ante un calentamiento se produce una hidrólisis para dar glucosa y fructosa, sustancias más reactivas que rápidamente caramelizan.

El **pH** del proceso también interviene, aumentando la velocidad a la que se produce la caramelización, y reduciendo la rapidez de solidificación en el enfriamiento. Por esta razón se suele añadir al azúcar una pequeña cantidad de ácido cítrico diluido (solo gotas). El pH ácido aumenta la velocidad de la reacción y disminuye la temperatura de comienzo de caramelización, hace más lenta la solidificación y disminuye la viscosidad del producto final.

### **2.2.3. Reacciones de Pardeamiento:**

#### **a) Pardeamiento por reacciones de Maillard [29]**

Con este nombre se designa un grupo muy complejo de transformaciones que traen consigo la producción de melanoidinas coloreadas que van desde amarillo claro hasta café oscuro e inclusive negro; para que se lleven a cabo se requiere de un azúcar reductor (cetosa o aldosa) y un grupo amino libre proveniente de un aminoácido o de una proteína.

Al principio se forman aldosaminas (compuestos de Heyns) y cetosaminas (compuestos de Amadori), estos productos apenas tienen color. Aldosaminas y cetosaminas se transforman en premelanoidinas, cuyos colores y aromas son variados y apreciados por los consumidores (están en el origen del olor a

"tostado" de los alimentos). Y se constituyen los polímeros marrones, llamados melanoidinas.

Estas reacciones las observó por vez primera el químico francés Maillard, en 1913, pero no fue sino hasta 1953 cuando se aclaró su mecanismo general. El característico y deseado color de la costra de los alimentos horneados se debe a esta reacción, al igual que el de los diversos postres a base de leche; sin embargo, es indeseable en otros productos, como en las leches evaporadas y azucaradas y en algunos jugos concentrados.

#### **b) Pardeamiento por caramelización [16]**

La caramelización es un proceso en el cual una solución concentrada de azúcar es tratada a elevada temperatura. Depende del tipo de azúcar, de la temperatura y tiempo de calentamiento y del pH.

##### **Caramelización a condiciones anhidras:**

Después de la fusión, la sacarosa pierde agua y se transforma en anhídridos de glucosa y anhídridos fructosa o glicosanos y levulosanos. La reacción se auto cataliza pues el agua formada acelera la reacción. Los anhídridos formados se combinan con el agua y producen ácidos derivados que hidrolizan a la sacarosa restante, produciendo fructosa y glucosa. Los glucosanos y levulosanos formados también pueden combinarse con el agua y reaparecer como fructosa y glucosa.

Durante todo el tiempo de reacción ocurre deshidratación e hidrólisis, alcanzando finalmente un predominio de ácidos como: ácido acético y ácido fórmico, de aldehídos tales como formaldehído e hidroximetil furfural, diacetil, carbonilos y grupos fenólicos; estos son compuestos responsables del aroma porque son volátiles, y del color porque son activos, se recombinan y forman un polímero que es el pigmento llamado melanoidina.

Con un calentamiento de 200 °C, la degradación de la sacarosa se da por desintegración, con la formación de espuma y pigmento.

Finalmente, los productos de degradación se recombinan y forman el caramelo. Podemos decir que esta es una reacción clásica de caramelización. Si el calentamiento continúa, se producirá la carbonización.

### **Caramelización en medio ácido:**

Se produce deshidratación de los azúcares y posterior polimerización. El caramelo obtenido es oscuro y tiene poco aroma.

Básicamente son tres etapas: la primera, la glucosa u otro azúcar reductor en medio ácido ( $H^+$ ), sufre una isomerización a nivel de  $C_1$ , grupo reductor, formando un isómero pasando un hidrógeno de  $C_2$  a  $C_1$  receptor de protones; pierde el carácter de aldehído, forma 1, 2 fenol y adquiere el carácter de alcohol. Este paso es muy inestable debido al doble enlace insaturado entre el  $C_1$  y  $C_2$ . En este punto, la primera etapa de la reacción termina.

La segunda etapa es la deshidratación (hay tres moléculas de agua por liberar), después de la salida de la primera molécula hay un reordenamiento o isomerización que conduce a la aparición de un isómero insaturado y altamente inestable que luego se transforma en un isómero saturado más estable. Luego se da la pérdida de las otras dos moléculas de agua. El isómero se encoge lo suficiente como para formar un enlace hemiacetal entre los carbonos 2 y 5; y se forma el hidroximetil furfural, HMF, precursor del color.

El HMF constituye el anillo de 5 miembros (furanosa), con la agrupación aldehídica (reactiva) en el carbono 1 que está ligada al anillo en el  $C_2$ , y una agrupación metílica hidroxilada en el  $C_6$  ligado al anillo en  $C_5$ . El producto es 5 hidroximetil, 2 furaldehído o hidroximetil furfural. Aquí termina la segunda etapa. Se tiene en cuenta que el azúcar está pasando por transformaciones de  $C_1$  a  $C_5$ .

La tercera etapa es la polimerización de HMF para dar un polímero colorido llamado melanoidina. El HMF no posee color presentándose de forma unitaria, sino después de la polimerización.

Ésta es una reacción auto catalizada, porque el agua liberada ayuda a la polimerización. Ver figura 2.9.

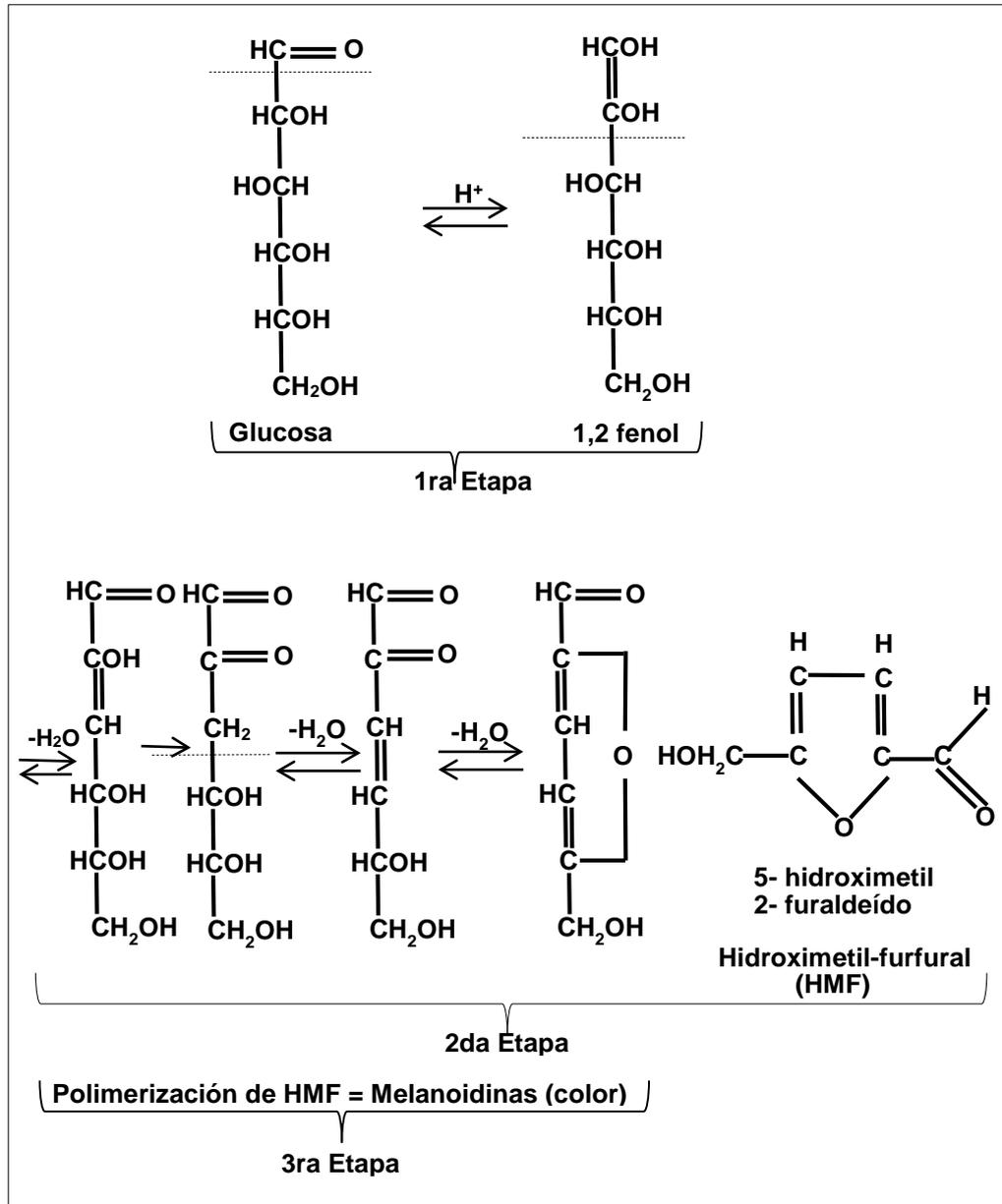


Figura 2.9: Etapas de caramelización en medio ácido  
Fuente: Oetterer, 1998.

### Caramelización en medio alcalino:

Se producen isomerizaciones de los azúcares y fragmentaciones de las cadenas. El caramelo obtenido es más claro que el anterior pero tiene más aroma.

Se puede considerar también tres etapas. La primera, el azúcar reductor en medio alcalino (OH<sup>-</sup>), experimenta una transposición o isomerización, lo que conduce a la obtención enol en los carbonos 1 y 2, adquiriendo el carácter alcohol. Es inestable debido a la insaturación, tal como la caramelización en medio ácido, aquí concluye la primera etapa. Las reacciones siguen una secuencia como en el medio ácido y forman HMF y melanoidinas.

Tanto la manosa, como la fructosa llegan al 1,2 enol, siendo una reacción reversible, como es demostrado por dos autores cuyas reacciones son conocidos con el nombre de Esquema de "Lobry de Bruyn - Alberda von Ekenstein".

En la segunda etapa se puede producir fragmentación del 1,2 enol en compuestos con 3 átomos de carbono dando gliceraldehído, triosa enediol, piruvaleído y ácido láctico, con grupos altamente reactivos, tales como aldehído, alcohol y ácido. Esta fragmentación se conoce como "la degradación Holtamand". Estos compuestos son reactivos, lábiles de rápida oxidación y por consiguiente rápido pardeamiento.

La tercera etapa es la formación de polímeros a partir de estos compuestos, lo que lleva a la formación de melanoidinas. Ver figura 2.10.

## Comparación de clases de pardeamiento

### Diferencias

Cuadro 2.2: Diferencias entre las reacciones de Maillard y la Caramelización

Reacción de Maillard	Caramelización
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede ocurrir incluso a temperatura ambiente.</li> <li>• Necesitan carbohidratos y aminoácidos o proteínas como sustratos.</li> <li>• La intensidad del color aumenta a pH alcalino.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requieren temperaturas muy altas.</li> <li>• Sólo necesitan carbohidratos como sustratos.</li> <li>• La intensidad del color aumenta a pH ácido.</li> </ul>

Fuente: Sceni, 2008.

### Similitudes

- Son reacciones de pardeamiento
- Se producen durante la cocción
- Producen compuestos responsables del color y del aroma de alimentos

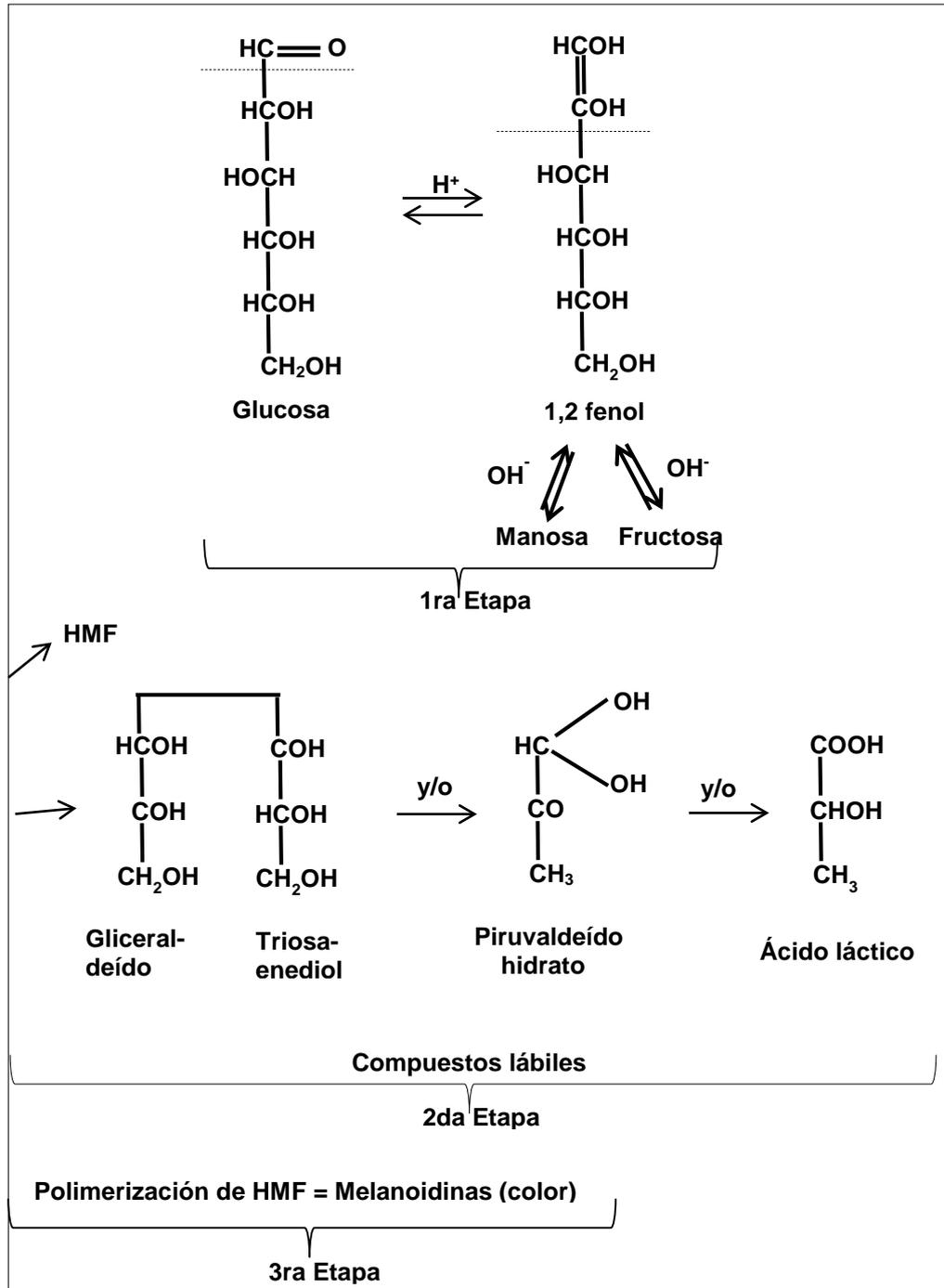


Figura 2.10: Etapas de caramelización en medio alcalino

Fuente: Oetterer, 1998.

### **2.3. Color Caramelo**

#### **2.3.1. Colorimetría [5]:**

El colorímetro es un instrumento que nos permite conocer una concentración desconocida comparando con otra solución de concentración conocida. El fenómeno consiste en la incidencia de una luz proveniente de una fuente uniforme de iluminación, oculta en la base de un aparato, la cual pasa por las ventanas (filtros) de la parte superior de la base y luego por las soluciones a comparar. Al pasar los haces de luz por las soluciones, parte de esta luz es absorbida; esto depende de la concentración y espesor de las soluciones. Los métodos para medir el factor de reflexión de un objeto, para luz de determinada longitud de onda, constituyen una rama de la ciencia experimental, denominada espectrofotometría y los equipos o instrumentos desarrollados para realizar esta clase de estudios se denominan espectrofotómetros. Dichos equipos tienen por función realizar mediciones conducentes a determinar la presencia de metales de transición, agentes tóxicos y otras clases de analitos de interés significativo, constituyendo curvas de calibrado que se basan en la ley de Beer.

La ley de Beer, es un formulismo matemático que nos permite relacionar la intensidad de la luz absorbida con la concentración de la solución, a través de la ecuación:  $A = \epsilon bc$ , donde:  $A$  = absorbancia, una medida de la intensidad de luz incidente ( $T_0$ ) en la solución con respecto a la intensidad de la luz transmitida ( $T$ ) luego de atravesar la solución del analito, matemáticamente se expresa como  $\text{Log}_{10}[T_0/T]$ . El coeficiente de extinción " $\epsilon$ " representa una constante de proporcionalidad y permite correlacionar la intensidad de la luz absorbida por el analito con la concentración, que es el parámetro " $c$ " en la ecuación; y el parámetro " $b$ " es la longitud de la cubeta que contiene la solución del analito o paso óptico en la ecuación. Si el paso se expresa en centímetros y la concentración en molaridad, el coeficiente de extinción se denomina coeficiente de absortividad molar.

### **2.3.2. Definición del color caramelo[18]:**

Es una sustancia de color marrón oscura de composición compleja producto de una reacción química, como resultado del tratamiento térmico de ciertos carbohidratos, entre ellos: dextrosa, azúcar invertida, lactosa, jarabe de maltosa, melaza, hidrolizados de almidón o azúcar.

Generalmente, este tratamiento térmico se realiza en presencia de ciertos reactivos seleccionados para crear un ambiente de reacción favorable para el desarrollo de ciertas características en el producto acabado; aditivos tales como ácidos (acético, cítrico, fosfórico, sulfúrico, sulfuroso), bases (hidróxido de amonio, hidróxido de calcio, hidróxido de potasio, hidróxido de sodio) y sales (amonio, carbonato de sodio o potasio, bicarbonato, fosfato, sulfato, sulfito).

Es el resultado de la llamada caramelización o pardeamiento no enzimático. Debido a su brillo, estabilidad y poder tintóreo es muy utilizado en la industria alimenticia como aditivo alimentario en forma de colorante, siendo identificado por los códigos alimentarios de la Unión Europea, con el código E-150.

### **2.3.3. Química del Color Caramelo [13]:**

La química del color caramelo ha sido revisada a detalle desde 1962. La química de las reacciones de Maillard y otras reacciones no enzimáticas ocurren durante la manufactura del color caramelo.

Los productos de estas reacciones, no son representativas del color caramelo en términos de su composición química, sino dependen de los reactantes y condiciones de uso; y el porcentaje de reactantes para carbohidratos son muchos.

El color caramelo es una mezcla compleja cuyos componentes separables son HMW (moléculas de alto peso molecular) y LMW (moléculas de bajo peso molecular). La mayoría son carbohidratos LMW y son solubles en solventes orgánicos.

La formación e intensidad del color depende básicamente de la duración del proceso, ésta origina cambios estructurales en la molécula del carbohidrato. Cuantitativamente el más significativo es la pérdida de peso debido a la eliminación de agua (deshidratación) en su estado de molécula libre o químicamente enlazada a los carbohidratos.

La adición de productos químicos se torna necesaria cuando se desea intensificar el color caramelo, ocasionando reacciones carbono–nitrógeno (Reacciones de Maillard) las cuales son las principales causantes de compuestos finales de color intenso.

#### **2.3.4. Tipos de Color Caramelo [11,12]:**

Existen varios tipos de color caramelo, por ejemplo tipos no resistentes a los ácidos y resistentes a los ácidos para colorear bebidas carbónicas, bebidas de malta, productos cocidos y alimentos.

Las características del color caramelo dependen en cierto grado del uso de reactivos que ayudan a la caramelización de los carbohidratos, y en el caso de usar aditivos, depende del tipo de reactivo usado.

Los cuatro tipos de color caramelo son:

**Tipo I (E-150 a):** Obtenido a través del calentamiento de azúcar sin el uso de catalizadores. Presenta una carga ligeramente negativa.

**Tipo II (E-150 b):** Obtenido a través del calentamiento de azúcar con anhídrido sulfuroso o sulfito sódico o potásico. Presenta una carga negativa.

**Tipo III (E-150 c):** Obtenido a través del calentamiento de azúcar con amoníaco o con una de sus sales (sulfato, carbonato o fosfato de amonio). Presenta una carga positiva.

**Tipo IV (E-150 d):** Obtenido a través del calentamiento de azúcar con sulfito amónico o con una mezcla de anhídrido sulfuroso y amoníaco. Presenta una carga negativa.

Cuando se hace reaccionar con sulfitos, el color caramelo puede retener trazas de sulfito después del procesamiento. Sin embargo, es necesario

etiquetar aquellos productos alimenticios terminados que contengan niveles de sulfito por encima de 10 ppm.

Independientemente del tipo de color caramelo, se puede utilizar otros aditivos con la finalidad de aumentar el poder tintóreo del colorante, tales como ácido acético, cítrico, fosfórico o sulfúrico; o hidróxido, carbonato sódico o potásico.

### **2.3.5. Estabilidad entre el Caramelo y la Salsa a base de Soya [20]**

En el caso de la salsa de soya, la aplicación del colorante caramelo no solo se lleva a cabo para otorgar color al producto final, sino también como exaltador de sabor, otorgando una nota dulce al producto final.

Existen dos puntos importantes a tener en cuenta al aplicar dicho colorante a una salsa a base de soya: la intensidad de color y evitar la producción de sedimentos.

La intensidad de color es importante debido a que el color de la salsa a base de soya puede ser de un tono rojizo a marrón, acorde al perfil de producto que se quiera lograr. Debido a esto, debe seleccionarse un colorante que pueda otorgar dicha tonalidad al producto final.

Asimismo, la importancia de la estabilidad del colorante caramelo en solución salina es fundamental, ya que si el colorante que se aplica no fuera estable en dichas condiciones, se formará un halo en la salsa para luego precipitar al fondo del envase.

El colorante caramelo (clase IV) es estable en solución salina, lo que le permite ser utilizado en altas proporciones, sin inconvenientes en su aplicación [11].

El color caramelo preparado con compuestos no nitrogenados (ácidos, bases y sales) tiene escasa carga iónica negativa y son compatibles con mezclas de alto contenido de alcohol.

## **CAPITULO III**

# **DESARROLLO EXPERIMENTAL**

### 3.1. Metodología experimental

#### 3.1.1. Tipo de investigación:

La investigación se basa en un método experimental que consiste en recopilar, procesar y analizar los datos que se obtienen de un proceso en particular y cuyos resultados servirán para identificar las variables influyentes y a su vez describir la metodología de dicho proceso.

#### 3.1.2. Descripción del proceso de caramelización:

La transformación del azúcar refinada como materia prima en caramelo sigue un proceso de 3 etapas:

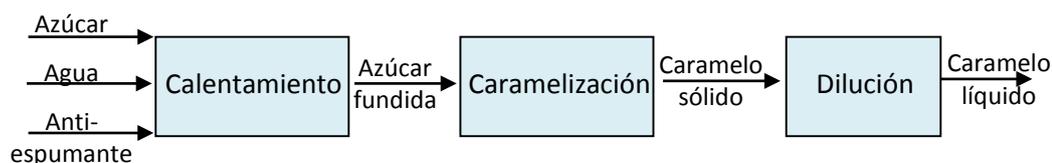


Figura 3.1: Diagrama de bloques del proceso de elaboración de colorante caramelo

Fuente: Elaboración propia

#### A. Calentamiento o fusión de la materia prima

Se inicia con la adición de 300 kg de azúcar blanca refinada a una marmita de 1000 L de capacidad, que contiene previamente un poco de agua, lo cual tiene como función facilitar la fusión del azúcar y homogenizar la transmisión de calor dentro del sistema.

Se enciende el quemador a gas, el cual se alimenta mediante una válvula con graduación proporcional al porcentaje de abertura de regulación del flujo de gas. Se inicia a fuego alto (frecuentemente 36% de abertura), es decir, fuego alto en comparación al fuego producido por una menor abertura que se hace al final del proceso.

Luego se aprecia la erupción del azúcar fundido (que tiene aspecto de melaza) sobre la superficie parcial del azúcar aún sólida, esta erupción no

ocurre en la zona central de la marmita, sino cerca del perímetro (cada marmita tiene un extremo específico de mayor influencia de calor). Durante este suceso se produce salpicaduras de pequeñas gotas de azúcar quemada líquida a la parte lateral inferior de la marmita y también a la parte exterior, alrededor muy cerca a la marmita. Esto sucede solo hasta que el operario agita manualmente por primera vez, por lo que es necesario agitar con cierta frecuencia.

Conforme avanza el proceso, la fusión de la materia prima se da de manera heterogénea, pues la superficie líquida aparenta una fusión total, pero el agitador se atasca cuando se intenta mover hasta el fondo, lo que evidencia bloques de azúcar sólida en la parte inferior de la marmita, que son removidos con una frecuencia de 3 o 4 veces a lo largo de esta etapa. A medida que hay una mayor proporción de líquido en la superficie, las salpicaduras disminuyen hasta desaparecer, dando pase al calentamiento del azúcar líquida por convección de dicho fluido, es decir empieza a hervir.

Este proceso tiene una duración alrededor de 1,5 horas.

### **B. Caramelización:**

Empieza cuando se tiene la fusión total del azúcar, es decir, si a una temperatura, existe líquido y sólido a la vez en la marmita, indica que ésta sería la temperatura de fusión del azúcar (154°C para el caso). En el momento que empieza a subir la temperatura, (lo cual se hace notable con el aumento acelerado de la espuma, acompañado de salpicaduras a una altura considerable por encima de la superficie líquida, llegando muchas veces al exterior de la marmita) indica que el proceso de fusión se ha completado.

En dicho momento se agrega un antiespumante, lo cual disminuye la tensión superficial, evitando que se vuelva a elevar la espuma.

Luego se tiene el calentamiento del fluido por convección, donde la temperatura sube lentamente y el líquido pasa de color mostaza a marrón cada vez más oscuro; paralelamente al color, la viscosidad aumenta lentamente hasta llegar a un estado tan viscoso (color negro) que cesa el movimiento convectivo, es a partir de aquí en donde la agitación manual del operario es fundamental para distribuir el calor de manera homogénea.

La viscosidad de la masa es tal que evita la salida de las burbujas de vapor que se forman en la parte inferior de la marmita, lo que trae como consecuencia un aumento de volumen con tendencia superar la capacidad de la marmita, pero es evitado con una agitación prolongada y permanente. En dicho estado la velocidad de calentamiento aumenta rápidamente, por ello, cuando la temperatura se halla alrededor de 200°C (que se manifiesta con la disminución en la fluidez) se baja la intensidad del calentamiento, a través de una reducción en la abertura de la válvula aproximadamente al 21%, para evitar el carbonizado del caramelo.

Luego de unos minutos de homogenizado a través de la agitación manual, cesa el calentamiento (se cierra totalmente la válvula de gas); se agita unos minutos más y luego se interrumpe el proceso bruscamente con la adición de agua. Se agrega agua utilizando un depósito de 20L de capacidad, al adicionar el primer depósito se produce una solidificación violenta con la salpicadura de hilos sólidos de caramelo hasta muy lejos alrededor de la marmita.

Este proceso tiene una duración alrededor de 1 hora y 20 minutos.

### **C. Dilución :**

Se busca que el colorante caramelo solidificado retorne al estado líquido a través de un calentamiento a bajo fuego (aproximadamente 21% de abertura de la válvula de gas). En este proceso se funde nuevamente el colorante a 98°C, a esta temperatura constante coexisten tanto el caramelo líquido y sólido (aún no fundido); se adiciona agua fría en dos oportunidades. Esta adición sirve para evitar crecimiento excesivo de espuma y a la vez para recuperar el sólido que aún sigue adherido a la pared interna de la marmita. El proceso termina al conseguir la densidad característica del caramelo. Este proceso tiene una duración alrededor de 1 hora y 10 minutos.

### **3.1.3. Identificación de variables:**

Como se describe líneas atrás, se tiene varios factores que intervienen en el proceso y no de manera precisa, sino de modo aproximado y por lo tanto distinto para cada lote de producción. Sumando a ello la incertidumbre

proveniente de las expectativas visuales del operario, quien determina el término de cada etapa del proceso.

Una vez obtenido el producto, es analizado en el laboratorio de control de calidad, donde se evidencia una variación de propiedades del colorante como producto intermedio proveniente de cada lote. Ya que la finalidad del colorante es mezclarse con el producto final de la empresa (siyau), las propiedades más afectadas con las variaciones son el poder tintóreo y la compatibilidad con el licor de siyau.

En base a la teoría consultada y a los registros proporcionados por la empresa, se presenta las siguientes variables dependientes e independientes que son reafirmadas experimentalmente mas adelante.

#### **a) Variables Dependientes**

##### **Poder tintóreo**

La intensidad de color es importante debido a que el color de la salsa a base de soya puede ser de un tono rojizo a marrón, acorde al perfil característico del producto que se quiere lograr. Por lo cual debe adicionarse un volumen determinado de colorante que pueda otorgar dicha tonalidad al producto final. Y para ello el volumen adicionado debe presentar las mismas propiedades y así mantener un volumen estándar pre-establecido.

##### **Compatibilidad con licor de siyau:**

La compatibilidad del color caramelo con los alimentos es importante para la estabilidad del producto final y consiste en que, al aplicar el colorante caramelo al licor de siyau, no genere precipitado de sólidos y disminuya así, su efecto como colorante; determinando una disminución en la intensidad de color que se desea obtener. La incompatibilidad puede traer como consecuencia: separación, floculación, formación de precipitado, etc. Estos efectos resultan de las interacciones de las cargas de las macromoléculas del color caramelo con los alimentos en particular. De allí, la carga iónica neta de las macromoléculas del color caramelo, en el pH del producto en el cual éste es usado, es un primer determinante de compatibilidad.

## b) Variables Independientes

Los factores que intervienen en el proceso de elaboración de colorante caramelo son:

- Materia prima
- Tiempo de caramelización
- Temperatura
- Velocidad de calentamiento (se controla con la abertura de gas a los quemadores)
- Agitación
- Tipo de marmita

### 3.1.4. Diseño experimental

Los ensayos se realizan en las dos marmitas que constituyen el sistema en estudio, las cuales serán tomadas de manera independiente, debido a la referencia de distintos tiempos de caramelización en cada una de ellas y de resultados siempre superiores de una con respecto a la otra.

Cuadro 3.1: Distribución de ensayos

Niveles	Azúcar 1	Azúcar 2	Azúcar 3
Marmita 1	Ensayo A	Ensayo C	Ensayo E
Marmita 2	Ensayo B	Ensayo D	Ensayo F

Fuente: Elaboración propia

#### Procedimiento de cada ensayo: Marmita X - Azúcar Y

Se adiciona 300 kg de azúcar Y blanca refinada a la marmita X, que contiene previamente 10 L de agua. Se enciende el quemador a un porcentaje de abertura "Z" de flujo de gas.

Una vez fundida la materia prima, se da inicio la caramelización hasta llegar a una temperatura alta  $T_i$ , la cual se mantendrá ( $T_i = T_{max}$ ) o seguirá elevándose según el flujo de calor que ingresa al sistema ( $T_{(i+1)} = T_{max}$ ). A esta  $T_i$  se disminuye el flujo de gas a través de la abertura de la válvula a

21%, manteniéndose así por un tiempo  $t_1$  y luego se cierra el flujo de gas, manteniéndose un determinado tiempo  $t_2$ , y contabilizándose en total  $t_1 + t_2 = "t"$ . Cumplido este tiempo a temperatura máxima se pone fin al caramelizado adicionándole 120 L de agua a temperatura ambiente.

Luego se enciende el quemador nuevamente y se procede a diluir el caramelo solidificado, con el mismo porcentaje de abertura (21%), hasta alcanzar las condiciones características del colorante. A lo largo de esta última etapa se adiciona 50 L más de agua dividido en dos porciones.

Se tiene las siguientes variables mencionadas:

- X : Número de marmita utilizada  
 Y : Marca de azúcar blanca refinada  
 Z : Porcentaje de abertura de flujo de gas  
 Tmax : Temperatura máxima alcanzada  
 t : Tiempo de permanencia a Temperatura máxima

Para cada uno de los ensayos, se fijan los valores de las variables que normalmente se usan en la producción diaria de colorante caramelo, los cuales se detallan a continuación:

Cuadro 3.2: Ensayo A, Marmita 1 - Azúcar Cabaña

Variables	Valores analizados		
Nivel de abertura de la válvula de gas	36%		39%
Temperatura máxima alcanzada (°C)	202	205	206
Tiempo de permanencia a temperatura máx.(min)	10	12	15

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3.3: Ensayo B, Marmita 2 - Azúcar Cabaña

Variables	Valores analizados		
Nivel de abertura de la válvula de gas	36%		39%
Temperatura máxima alcanzada (°C)	203	208	209
Tiempo de permanencia a temperatura máx.(min)	10	12	13

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3.4: Ensayo C, Marmita 1 - Azúcar Risaralda

<b>Variables</b>	<b>Valores analizados</b>		
Nivel de abertura de la válvula de gas	32%	36%	39%
Temperatura máxima alcanzada (°C)	202	205	206
Tiempo de permanencia a temperatura máx.(min)	10	13	18

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3.5: Ensayo D, Marmita 2 - Azúcar Risaralda

<b>Variables</b>	<b>Valores analizados</b>		
Nivel de abertura de la válvula de gas	32%	36%	39%
Temperatura máxima alcanzada(°C)	203	210	212
Tiempo de permanencia a temperatura máx.(min)	12	13	20

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3.6: Ensayo E, Marmita 1 - Azúcar Incauca

<b>Variables</b>	<b>Valores analizados</b>		
Nivel de abertura de la válvula de gas	32%	36%	39%
Temperatura máxima alcanzada(°C)	205	206	211
Tiempo de permanencia a temperatura máx.(min)	10	12	20

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3.7: Ensayo F, Marmita 2 - Azúcar Incauca

<b>Variables</b>	<b>Valores analizados</b>		
Nivel de abertura de la válvula de gas	32%	36%	39%
Temperatura máxima alcanzada(°C)	206	209	212
Tiempo de permanencia a temperatura máx.(min)	12	13	18

Fuente: Elaboración propia

Para todos los casos se compararán los resultados finales del poder tintóreo y la compatibilidad en función a los valores de las variables mencionadas.

### **3.2. Materiales**

- Termocupla industrial tipo J, [0 -900] °C
- Dos agitadores de madera
- Dos quemadores de gas natural
- Tablero de control
- Equipo de seguridad personal
- Dos marmitas (Marmita 1 y Marmita 2) de 1000 L de capacidad cada una. De material acero inoxidable, con 2/3 de capacidad por encima del nivel del piso.

### **3.3. Metodología de Análisis**

#### **3.3.1. Caracterización de la materia prima**

##### **A. Color del Azúcar**

###### **PRINCIPIO**

El espectrofotómetro tiene la capacidad de proyectar un haz de luz monocromática a través de una muestra y medir la cantidad de luz que es absorbida por dicha muestra a una longitud de onda de 420 nm. Esto permite representar indirectamente la cantidad de materia coloreada presente.

###### **EQUIPOS Y MATERIALES**

###### **EQUIPOS**

- Espectrofotómetro GENESIS 20
- Balanza analítica
- Agitador magnético

###### **MATERIALES**

- Tubo porta muestra de 10 cm de longitud
- Vasos de precipitado de 150 mL
- Papel filtro Whatman de 125 mm
- Gradilla porta tubos
- Embudo pequeño

- Papel tisú

## **PROCEDIMIENTO**

El método utilizado es el Método ICUMSA, GS2/3-9 White Sugar Solution Colour.

Se prepara una solución de azúcar al 50 % en peso (50 g de azúcar con 50 g de agua) y se disuelve totalmente utilizando un agitador magnético, luego se filtra la solución para medir la densidad óptica (valor de absorbancia medida en un espectrofotómetro). Esta solución se vierte en un tubo porta muestra de 10 cm de longitud, el cual es colocado dentro del espectrofotómetro (calibrado previamente con el blanco a 420 nm) y se lee el valor de la absorbancia dada por el equipo. Este valor viene a ser el color del azúcar blanco refinado y generalmente está comprendido entre los valores 0,015 y 0,030.

## **B. Determinación de Contenido de Sulfitos**

### **PRINCIPIO**

El color del complejo sulfito/rosanilina es una medida fotométrica, en una longitud de onda cercana a 560 nm, después de la reacción con formaldehído.

## **EQUIPOS Y MATERIALES**

### **EQUIPOS**

- Espectrofotómetro GENESIS 20
- Balanza analítica
- Agitador magnético

### **MATERIALES**

- Tubos porta muestra de 10 cm de longitud
- Vasos de precipitado de 100 mL
- Fiola de 100 mL
- Tubos de ensayo
- Gradilla porta tubos

- Papel tisú

#### REACTIVOS:

- **Solución B:** solución Decolorada Rosanilina.
- **Solución C:** solución Formaldehído al 0,2%
- Solución de hidróxido de sodio 0,1 mol/L

#### PROCEDIMIENTO

El método utilizado es el Método ICUMSA, GS2-33 Sulphite in White Sugar by the Rosaniline Colorimetric Method.

Se pesa 20 g de azúcar y se agrega 4 mL de soda caustica, se adiciona 50 mL de agua para ayudar la disolución, una vez disuelta completamente, se traslada a una fiola de 100 mL y se enrasa con agua destilada. Se preparan 2 tubos de ensayo a uno de los cuales se le adiciona 10 mL de agua destilada (tubo blanco) y al otro 10 mL de la muestra preparada (tubo muestra). A cada uno de los tubos se le agrega 2 mL de una solución B y 2 mL de una solución C y se deja reposar por 30 minutos. Al final de este tiempo se mide la absorbancia de estos dos tubos en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 560 nm. Se usa agua destilada para la calibración del blanco previamente a la medición.

Para hallar el contenido de sulfito, se hace uso de la curva de calibración de la concentración de sulfitos en azúcar (Anexo B).

De dónde:

$$X_i = \text{Absorbancia}_{\text{muestra}} - \text{Absorbancia}_{\text{blanco}} \quad (3.1)$$

Utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{ppm } SO_2 = \frac{Y_i * \text{Vol.Final}}{\text{masa de muestra}} \quad (3.2)$$

Dónde:

$Y_i$  : ppm de  $SO_2$  directamente de la curva para un valor de  $X_i$

$\text{Vol.Final}$  : 10 mL

$\text{masa de muestra}$  : 20 g

## C. Contenido de Sacarosa

### PRINCIPIO

La polarimetría es una técnica que se basa en la medición de la rotación óptica producida sobre un haz de luz polarizada al pasar por una sustancia ópticamente activa, como lo es el azúcar. En donde la concentración del azúcar es proporcional al ángulo de polarización.

### EQUIPOS Y MATERIALES

#### EQUIPOS

- Polarímetro
- Balanza analítica
- Agitador magnético

#### MATERIALES

- Vasos de precipitado de 150 mL
- Fiolas de 100 mL
- Papel tisú

### PROCEDIMIENTO

El uso del polarímetro para hallar la concentración del azúcar está aprobado por ICUMSA.

Se preparan 5 muestras de solución de azúcar de 10%, 14%, 18%, 22% y 26% (m/v). Luego se coloca la solución en el tubo porta muestra del polarímetro.

Se miden las rotaciones en el polarímetro causadas por la solución del azúcar para cada concentración; la composición de la sacarosa se halla de la siguiente manera:

$$\% \text{ Azúcar} = \frac{\alpha * 100 * 100}{[\alpha]_D^{20} * l * c} \% \quad (3.3)$$

$$\% \text{ Sacarosa} = \frac{\alpha * 100}{[\alpha]_D^{20} * l} \quad (3.4)$$

Dónde:

$\alpha$ : Rotación óptica

$[\alpha]_D^{20}$ : Rotación específica de la sacarosa (+66,5)

l: Longitud de tubo porta muestra en dm

c: Concentración de la solución en g/mL

## D. Humedad del Azúcar

### PRINCIPIO

Se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua. Para esto se requiere que la muestra sea térmicamente estable y que no contenga una cantidad significativa de compuestos volátiles. El azúcar es adquirido en estado sólido por lo que no tiene cantidades apreciables de agua para causar variaciones en el proceso de producción, pero si en la humedad que aporta e influye en la rapidez de deterioro cuando se encuentra en almacén.

### EQUIPO

- Secador de humedad con balanza incluida

### PROCEDIMIENTO

Se determina la humedad de los azúcares en un secador que se cuantifica la variación de peso con un estricto control de temperatura.

Se tara el equipo con la cubierta cerrada y luego se abre para colocar 5 g de azúcar en un recipiente que reposa sobre la balanza interna del equipo, se cierra la cubierta e inicia el proceso de secado; el equipo va mostrando la medida de humedad instantánea conforme va perdiendo masa en forma de vapor, proveniente de la humedad inicial. Una vez que no registra variación en el peso, emite un sonido el cual indica que la lectura es la humedad total contenida.

### **3.3.2. Caracterización del color caramelo como producto**

#### **A. Poder Tintóreo**

##### **PRINCIPIO**

El espectrofotómetro tiene la capacidad de proyectar un haz de luz monocromática a través de una muestra y medir la cantidad de luz que es absorbida por dicha muestra a una longitud de onda de 560 nm. Esto permite representar indirectamente la cantidad de materia coloreada presente.

##### **EQUIPO Y MATERIALES**

###### **EQUIPO**

- Espectrofotómetro GENESIS 20

###### **MATERIALES**

- Tubos porta muestra de 10 cm de longitud
- Matraces volumétricos de 250 mL
- Papel filtro Whatman de 125 mm
- Pipetas volumétricas
- Gradilla porta tubos
- Embudo de vidrio
- Fiolas de 100 mL
- Papel tisú

##### **PROCEDIMIENTO**

Se extrae 1 mL de colorante, se enraza en una fiola de 100 mL y se agita vigorosamente, luego se extrae 5 mL de dicha solución para enraza a una fiola de 50 mL y se agita, finalmente se coloca en un tubo de ensayo porta muestra para medir la absorbancia a 560 nm de longitud de onda, que se reporta como el poder tintóreo.

El poder tintóreo del colorante está definido como el nivel de absorbancia medido en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 560 nm de una solución al 0,1%.

## B. Índice de Color (Matiz)

### PRINCIPIO

Matiz, es una medida del grado de tono rojo del color caramelo, el cual está determinado de la siguiente forma:

$$\text{Índice de Color} = 10 * \log \left( \frac{A_{510}}{A_{610}} \right) \quad (3.5)$$

Dónde:

$A_{510}$ : Absorbancia a 510 nm

$A_{610}$ : Absorbancia a 610 nm

El índice oscila de 3,4 (marrón oscuro) a 7,5 (marrón rojizo).

Se hace uso del espectrofotómetro bajo el principio ya mencionado en la medición del poder tintóreo con la finalidad de indicar que tan intenso es la tonalidad rojo de la muestra.

### EQUIPO Y MATERIALES

#### EQUIPO

- Espectrofotómetro GENESIS 20

#### MATERIALES

- Tubos porta muestra de 10 cm de longitud
- Matraces volumétricos de 250 mL
- Papel filtro Whatman de 125 mm
- Pipetas volumétricas
- Gradilla porta tubos
- Embudo de vidrio
- Fiolas de 100 mL
- Papel tisú

### PROCEDIMIENTO

Se extrae 1 mL de colorante, se enraza en una fiola de 100 mL y se agita vigorosamente, luego se extrae 5 mL de dicha solución para enrazar a una fiola de 50 mL y se agita, finalmente se coloca en un tubo de ensayo porta

muestra para proceder a medir la absorbancia a 510 y 610 nm de longitud de onda.

### **C. Compatibilidad con el licor**

#### **PRINCIPIO**

La carga coloidal es una característica importante del color caramelo y determina el producto a usar en la variedad de aplicaciones que presenta. Cada molécula de caramelo transporta una carga eléctrica generada durante el proceso. El tipo de color caramelo menos reactivo (Tipo I) transporta una carga ligeramente negativa, lo cual trae como consecuencia una variedad de resultados al entrar en contacto con el licor de siyau, produciendo aglomeración y precipitación del color en cantidades fluctuantes.

#### **EQUIPOS Y MATERIALES**

##### **EQUIPOS**

- Centrífuga
- Balanza analítica de  $\pm 0,005$  de incertidumbre

##### **MATERIALES**

- Tubos porta muestra de la centrífuga
- Probeta graduada de vidrio
- Bagueta

#### **PROCEDIMIENTO**

Se mezcla 10 mL de colorante caramelo con 90 mL de licor y se agita hasta homogenizar. Se deja en reposo 24 horas a condiciones ambientales y cumplido el tiempo se observa el nivel de precipitado. Si éste no es muy notable, entonces se procede a centrifugar la mezcla. Se coloca 10 mL de muestra en cada tubo y se centrifuga por 30 minutos. Luego se desecha el líquido y se deja secar el sólido que queda adherido a la base del tubo, finalmente se pesa el total, restando luego el peso del tubo. Se tiene una proporción de masa de sólidos/ volumen de mezcla.

$$\text{Precipitado de sólidos} \left( \frac{\text{kg}}{\text{L}} \right) = \frac{m_s}{v_m} \quad (3.6)$$

Dónde:

$m_s$  : Masa de la muestra sólida  $m_s = m_{\text{tubo+sólido}} - m_{\text{tubo}}$ , g.

$v_m$  : Volumen de muestra centrifugada, mL

## D. Test de Resinificación

### PRINCIPIO

El análisis para hallar la vida en anaquel de un colorante se conoce como test de Resinificación. Los métodos acelerados de estimación de la durabilidad son útiles para disminuir el tiempo dedicado a los ensayos de estimación cuando se estudian productos no perecederos.

Se basa en someter el producto a condiciones de almacenamiento que aceleren las reacciones de deterioro, las que se denominan excesivas; pueden ser: temperaturas, presiones parciales de oxígeno y altos contenidos de humedad.

### EQUIPO Y MATERIALES

#### EQUIPO:

- Equipo de baño termostático de agua

#### MATERIALES:

- Tubos de ensayo con tapa
- Gradilla porta tubos

### PROCEDIMIENTO

Una pequeña cantidad del colorante es puesto en un tubo de ensayo y colocado en un equipo de baño María a temperatura constante de 100 °C. Se monitorea el número de horas requeridas para que una muestra del colorante llegue a un punto en el que pierda sus propiedades características. Cada 20 horas que tarda el colorante en llegar al punto de resinificación equivale a 1

año aproximadamente de conservación de sus características físicas y químicas, bajo condiciones de almacenamiento.

Se emplea muestras cerradas y clasificadas cada mes, por lo tanto en el momento que se realiza la experiencia, se mide previamente las características (color, matiz, pH) que presentan las muestras de colorante hasta entonces, debido a que algunas ya cuentan con un tiempo de vida en anaquel.

Se espera que el producto tenga una larga vida manteniendo sus propiedades de fluidez, pues esta será determinante en la decisión de compra del producto.

#### **E. Otras propiedades físicas y químicas de colorante**

La evaluación de estas propiedades es necesaria debido al riguroso control de calidad por el que tiene que pasar el colorante.

##### **a) Gravedad Específica**

###### **PRINCIPIO**

Debido a la elevada viscosidad que presenta el colorante, la gravedad específica debe ser medida a partir de la masa contenida en un volumen definido.

En los sistemas abiertos, la gravedad específica del colorante tiende a un valor menor y por lo contrario, en los sistemas cerrados la gravedad específica tiende a un valor mayor.

###### **EQUIPO Y MATERIALES**

###### **EQUIPO:**

- Balanza analítica.

###### **MATERIALES**

- Vaso de precipitado de 200 mL
- Pipeta graduada de 5 mL

## PROCEDIMIENTO

Se tara la balanza incluyendo el sistema: vaso de precipitado y pipeta de 5 mL vacío.

Se succiona 5 mL del colorante caramelo y se coloca en el vaso, registrando la medida del peso del colorante y aplicando una simple división del peso sobre el volumen, se obtiene la propiedad.

### b) Viscosidad

#### PRINCIPIO

El viscosímetro de Brookfield permite medir la viscosidad de fluidos no newtonianos como es el caso del colorante caramelo. Y consiste en determinar la fuerza requerida para rotar un disco o lentejuela en un fluido a una velocidad conocida.

#### EQUIPO Y MATERIALES

##### EQUIPO:

- El viscosímetro de Brookfield modelo LVT

##### MATERIALES

- Vaso de precipitado de 200 mL
- Pipeta graduada de 5 mL
- Termómetro de mercurio

#### PROCEDIMIENTO

Para medir la viscosidad del colorante se utiliza un viscosímetro Brookfield a una temperatura estable, recomendable a temperatura ambiente. Se varían las velocidades utilizando el spindle N° 3 y se registran las medidas que indica la aguja del dial circular en el equipo. Estos datos van a ser utilizados para hallar la viscosidad:

$$V_{(t)} = L_{(t)} \times F_{(t)} \quad (3.7)$$

Dónde:

- $V_{(i)}$ : Viscosidad del fluido para cada velocidad (cps).  
 $L_{(i)}$ : Lectura marcada por el aguja en el dial circular para cada velocidad.  
 $F_{(i)}$ : Factor según el modelo del viscosímetro y el número de spindle utilizado.  
 $i$ : Velocidad del spindle (rpm).

Cuadro 3.8: Factor para el modelo LVT y spindle N° 3, según cada velocidad.

VELOCIDAD (i) rpm	FACTOR
0,3	4000
0,6	2000
1,5	800
3	400
6	200
12	100
30	40
60	20

Fuente: Manual de instrucciones de funcionamiento del viscosímetro Brookfield LVT

### c) Potencial de Hidrogeno (pH)

#### PRINCIPIO

El pH-metro es un sensor utilizado en el método electroquímico para medir el pH de una disolución. La determinación de pH consiste en medir el potencial que se desarrolla a través de una fina membrana de vidrio que separa dos soluciones con diferente concentración de  $H^+$ .

#### EQUIPO

- PH-metro DENVER de  $\pm 0,005$  de incertidumbre

## **PROCEDIMIENTO**

Para medir el pH del colorante se utiliza un pH-metro digital, calibrado previamente, se sumerge la muestra y se espera la estabilización del equipo aproximadamente 5 minutos, los resultados obtenidos tienen dos dígitos de precisión.

### **d) Punto Isoeléctrico**

#### **PRINCIPIO**

El Punto Isoeléctrico está definido como el pH en el cual las cargas positivas igualan a las cargas negativas y no existe movimiento en un campo eléctrico. En su calidad de proteína, la gelatina exhibe una conducta anfótera. En medio ácido, la gelatina tiene carga positiva, medio en el cual el colorante puede presentar carga positiva o negativa de acuerdo al valor de pH con respecto al PI.

#### **EQUIPOS Y MATERIALES**

##### **EQUIPOS:**

- PH metro DENVER de  $\pm 0,005$  de incertidumbre
- Agitador magnético con calentador
- Balanza analítica

##### **MATERIALES**

- Vasos de precipitado de 100 mL
- Pipetas volumétricas
- Fiolas de 100 mL y 50 mL

##### **REACTIVOS:**

- Solución de ácido clorhídrico, HCl 1N

## **PROCEDIMIENTO**

### **Solución de gelatina al 0,5%**

Se pesa 5 g de gelatina y se disuelve en caliente (para evitar la formación de grumos) utilizando el agitador magnético con calentador y se enraza en una fiola de 100 mL.

### **Solución de colorante caramelo al 0,1%**

Se extrae 1 mL de colorante, se enraza en una fiola de 100 mL y se agita vigorosamente, luego se extrae 5 mL de dicha solución para enrazar a una fiola de 50 mL y se agita.

Una vez preparadas las soluciones, se lleva el pH de cada una de ellas a los valores de: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 y 3,0. Se mezclan en una misma proporción y en forma correspondiente al pH. Se deja reposar y se observa si existe la formación de precipitado. De no ser apreciable el precipitado formado, se procede a centrifugar.

### **e) Análisis Microbiológico**

El color caramelo es un producto esencialmente estéril con un nivel de sólidos relativamente alto y pH bajo, por lo que no está sujeto a ataques microbiales hasta que está diluido. Como consecuencia, las especificaciones del caramelo tienden a ser muy estrictas, con especificaciones tales como conteo total de placas inferior a 200 por gramo, almidón inferior a 10 por gramo, coliformes y salmonella negativos.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### 4.1. Caracterización de la materia prima

La evaluación se hace con azúcar blanca refinada que no se encuentra en el mercado local, sino se importa de países vecinos entre los cuales se tiene: Cabaña, Risaralda e Incauca. A los cuales se les mide los indicadores de calidad como es el color, contenido de sulfitos, contenido de sacarosa, entre otros. De acuerdo a los resultados:

- Se observa que el azúcar Cabaña presenta un nivel de color mayor con respecto a las otras dos. Por lo que se puede afirmar que tanto el azúcar Risaralda como el Incauca tienen un mayor grado de refinación.
- El nivel de sulfitos no presenta diferencias notables ya que en los tres casos está cerca de 0,3 mg de  $SO_2$ / kg de azúcar.
- En los resultados del contenido de sacarosa se tiene un mayor porcentaje de pureza en el caso del azúcar Incauca (97,23%), seguida del azúcar Risaralda (96,66%) y por último el azúcar Cabaña (95,71%). Coincidiendo con el caso del análisis de color, en que el azúcar Incauca ha tenido un mejor proceso de refinación.
- Se registra un mayor nivel de humedad en el azúcar Incauca, seguida de Risaralda y Cabaña, pero aun en el caso de presencia de mayor humedad (0,12%), este porcentaje solo representa 360 mL de agua por cada 300 kg de azúcar, que es la cantidad de materia prima utilizada para un lote de caramelo.
- El pH es similar para los dos casos de azúcar de los que se tiene información.

En conclusión el color del azúcar es la variable más resaltante que aporta la materia prima, en base a la cual se podría predecir si es recomendable para la elaboración del colorante, mas no cuan favorable es, pues en los análisis fisicoquímicos de la materia prima, mientras presente una mayor intensidad de color (mayor concentración) es más conveniente para el proceso de caramelización, pero si la solución presenta un aspecto turbio o amarillento, indica un mayor contenido de impurezas que al final sumara sólidos al

caramelo y formara parte del precipitado al ser combinado con el producto final (siyau).

Los valores promedios de los resultados de análisis de la materia prima se observa en el cuadro 4.1, pero se presenta de manera detallada en el Anexo C.

Cuadro 4.1: Caracterización de las tres clases de azúcar

PROPIEDADES	AZÚCAR CABAÑA	AZÚCAR RISARALDA	AZÚCAR INCAUCA
Índice de color	0,028	0,021	0,022
Sulfitos (mg SO <sub>2</sub> /kg de azúcar)	0,33	0,32	0,32
% Azúcares	95,71	96,66	97,23
% Humedad	0,04	0,09	0,12
PH	-	6,5	6,4

Fuente: Elaboración propia.

## 4.2. Caracterización del colorante caramelo

### 4.2.1. Determinación de las variables dependientes

Se presenta los resultados de todos los ensayos realizados independientemente del porcentaje de abertura de la válvula de gas, de la temperatura y del tiempo de permanencia, con la finalidad de analizar la sensibilidad de las propiedades del colorante como producto final; y teniendo solo como variables el tipo de marmita y el tipo de azúcar utilizado. Se puede observar las diferencias experimentales en las figuras presentadas.

### Poder Tintóreo

Los valores del poder tintóreo del colorante final se distribuye en un amplio rango de valores, como se observa en la figura 4.1 y 4.2, variando desordenada e independientemente para cada una de las marcas de azúcar utilizada y a la vez para cada una de las marmitas, incluso varia a lo largo de la isoclina. Es decir depende de otras perturbaciones que intervienen en dicho sistema.

Esto evidencia la gran sensibilidad de dicha propiedad, es por ello que el poder tintóreo es analizado más adelante para cada variación de los demás parámetros, tales como el porcentaje de abertura de la válvula de gas, tiempo de permanencia a fuego alto y la temperatura máxima alcanzada.

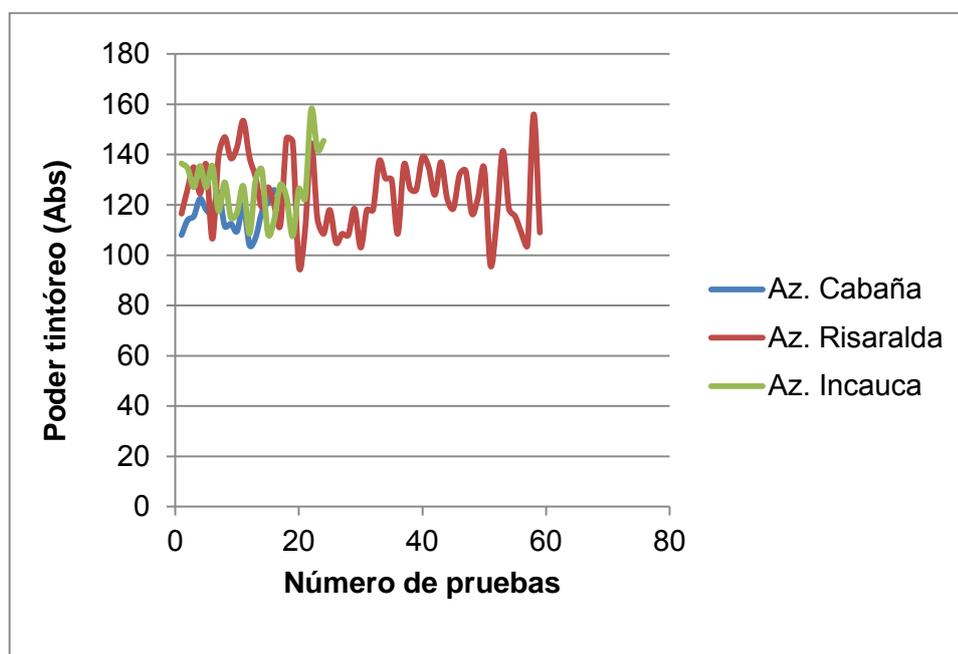


Figura 4.1: Perfil de variación del poder tintóreo para cada tipo de azúcar (Marmita 1)

Fuente: Elaboración propia.

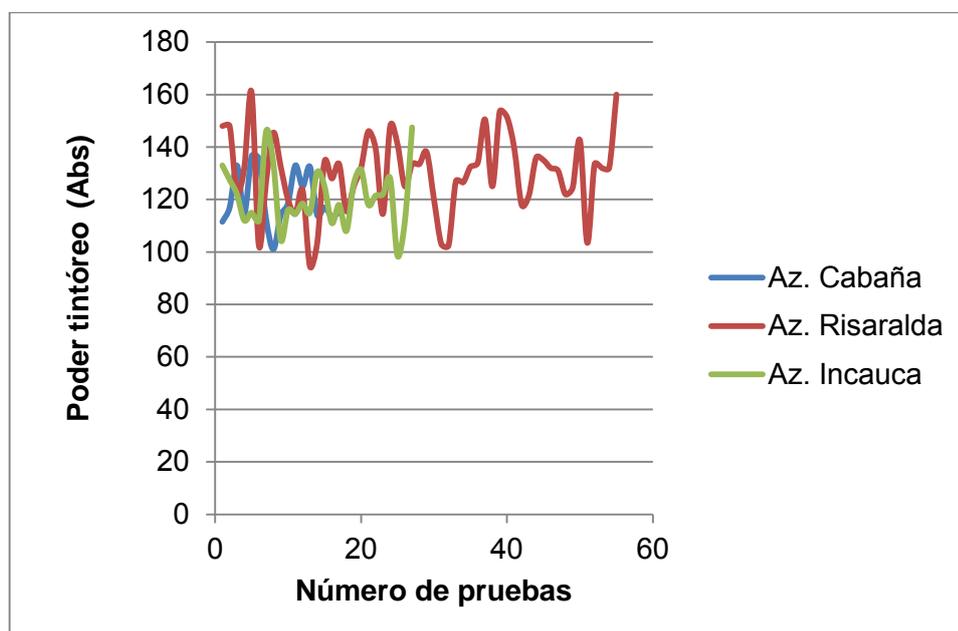


Figura 4.2: Perfil de variación del poder tintóreo para cada tipo de azúcar (Marmita 2)

Fuente: Elaboración propia.

### Índice de Color (Matiz)

El comportamiento del matiz es muy estable en casi la totalidad de las pruebas y para cada tipo de azúcar. En el caso del azúcar Risaralda se tiene la presencia de algunos picos superiores e inferiores en cantidades despreciables en comparación a las 55 pruebas que se realizaron en cada una de las marmitas. Observándose en las figuras 4.3 y 4.4 una tendencia al valor 6 de matiz, independientemente del tipo de azúcar utilizada y coincidiendo en las dos marmitas para dicho valor de tendencia.

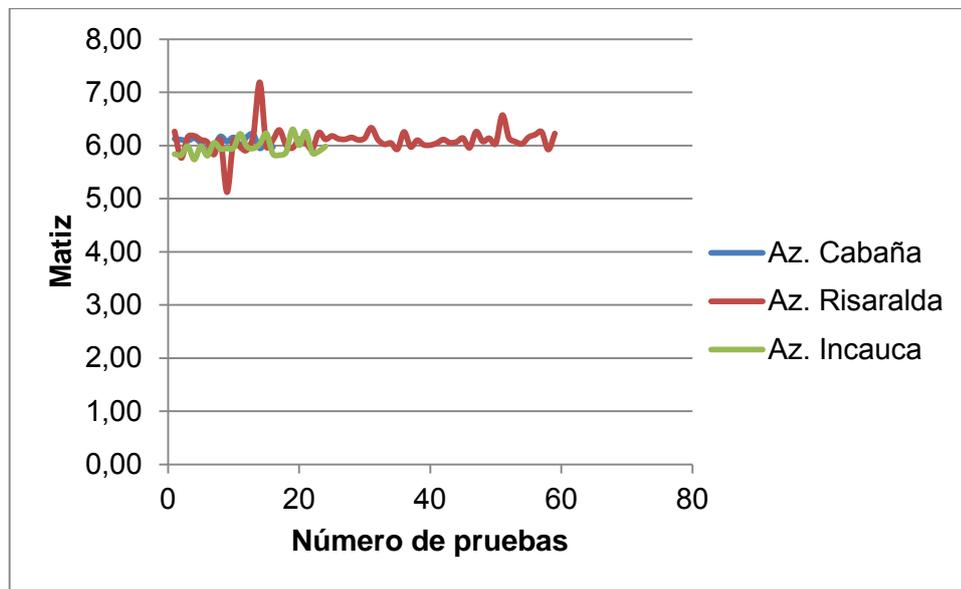


Figura 4.3: Perfil de variación de matiz para cada tipo de azúcar (Marmita 1)  
Fuente: Elaboración propia.

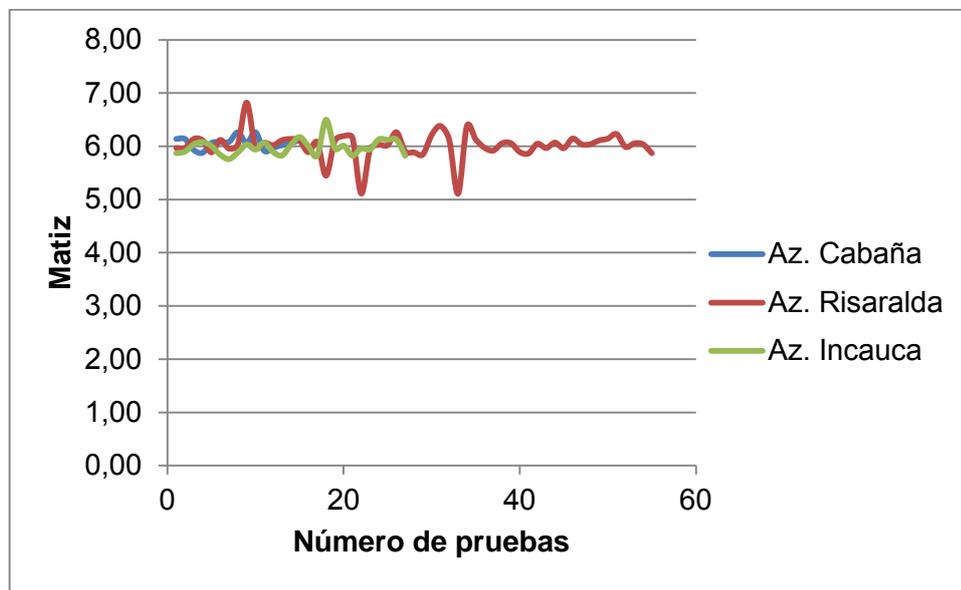


Figura 4.4: Perfil de variación de matiz para cada tipo de azúcar (Marmita 2)  
Fuente: Elaboración propia.

### Compatibilidad con el licor:

El azúcar Cabaña, presenta un comportamiento muy inestable con respecto a la formación de sólidos, aunque en la Marmita 2 no se tiene suficientes datos para precisar la tendencia de dicho comportamiento (ver Figura 4.5 y 4.6). Mientras que el comportamiento del colorante proveniente del azúcar Risaralda tiene mayores fluctuaciones en los resultados de compatibilidad en las dos marmitas. En el caso del caramelo a partir del azúcar Incauca, se tiene una mayor estabilidad independientemente de la marmita donde ha sido elaborado. Esto evidencia también gran sensibilidad de la propiedad, por ello la compatibilidad, al igual que el poder tintóreo, es analizado más adelante para cada variación de los demás parámetros causantes de perturbaciones en el proceso.

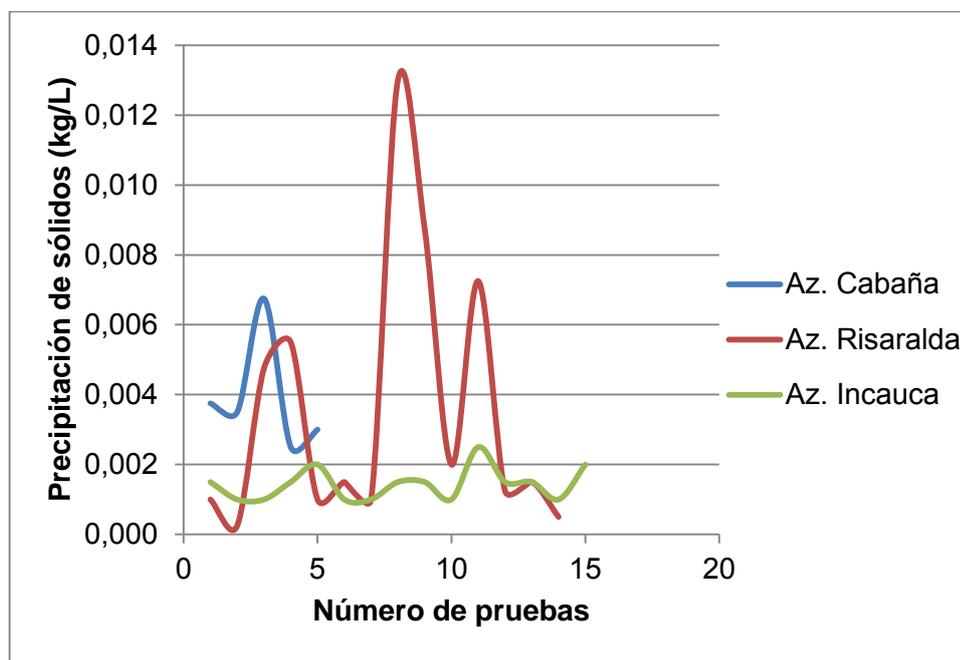


Figura 4.5: Precipitación de sólidos en pruebas de compatibilidad para cada tipo de azúcar (Marmita 1)

Fuente: Elaboración propia.

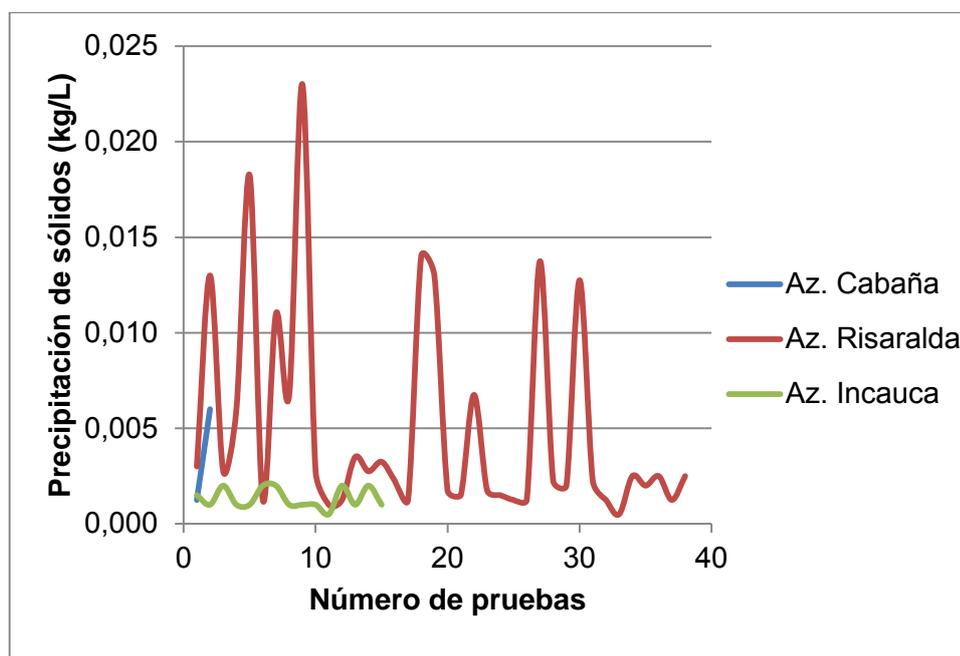


Figura 4.6: Precipitación de sólidos en pruebas de compatibilidad para cada tipo de azúcar (Marmita 2)

Fuente: Elaboración propia.

#### Test de Resinificación:

El poder tintóreo aumenta de manera progresiva en el transcurso de los días desde el inicio de su almacenamiento, en la figura 4.7 se observa una tendencia a estabilizarse en un determinado valor para cada muestra.

El matiz de las muestras presenta un aumento acelerado de sus valores durante los primeros días pero un lento descenso de valores a largo plazo, con una tendencia de todos ellos a estabilizarse a un valor en común o al menos a valores muy cercanos, como se observa en la figura 4.8.

No se puede precisar la tendencia que seguirán los valores de pH ya que tienen direcciones distintas de avance como se muestra en la figura 4.9.

Cuadro 4.2: Resultados del tiempo de vida en anaquel en base al Test de resinificación.

MUESTRA	TIEMPO DE CONSERVACIÓN				
	NATURAL	FORZADO		TOTAL	
	(días)	horas	Días	días	Meses
M-1	181	10	183	364	12,1
M-2	150	21	383	533	17,8
M-3	120	10	183	303	10,1
M-4	88	9	164	252	8,4
M-5	58	13	237	295	9,8
M-6	27	16	292	319	10,6
Valor Promedio (meses)					11,5
Error por desviación cuadrática media (meses)					3,3
Valor Final (meses)					11,5 ± 3,3

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el cuadro 4.2 los meses de vida en anaquel son muy variados, en especial la segunda muestra que tiene un valor muy lejano al de las demás. Y su causa puede deberse al pH inicial bajo ( $\text{pH}=2.02$ ), bastante diferente al de los demás, y las muestras M-4 y M-5 tienen un tiempo mínimo de vida en anaquel, coincidentemente teniendo pH altos relativos al grupo ( $\text{pH}_4=2.30$  y  $\text{pH}_5=2.40$ ); independientemente al orden en que fueron almacenados. Por lo cual podemos decir que la acidez es un buen indicador de mayor duración de vida en anaquel. Lo cual puede explicarse para el caso de pH bajo, que se tiene una caramelización más eficiente (una buena polimerización) por lo cual los compuestos finales tienen mayor estabilidad y menor tendencia a degradarse. Por lo contrario los colorantes a pH altos no tuvieron una polimerización efectiva formando cadenas cortas fácilmente degradables al exponerlas a condiciones extremas de almacenamiento.

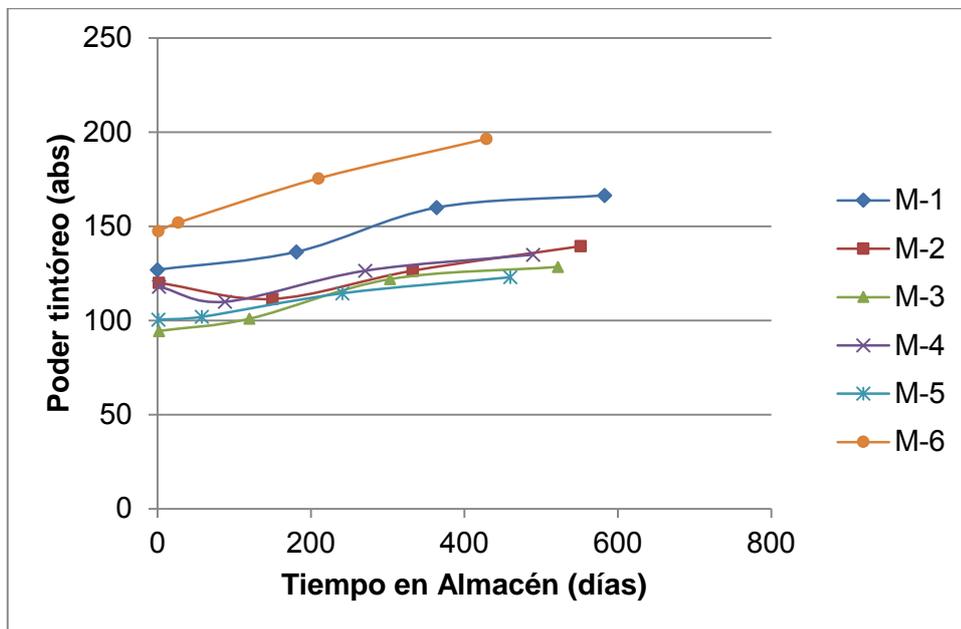


Figura 4.7: Perfil del poder tintóreo a lo largo de los días de vida en anaquel  
Fuente: Elaboración propia

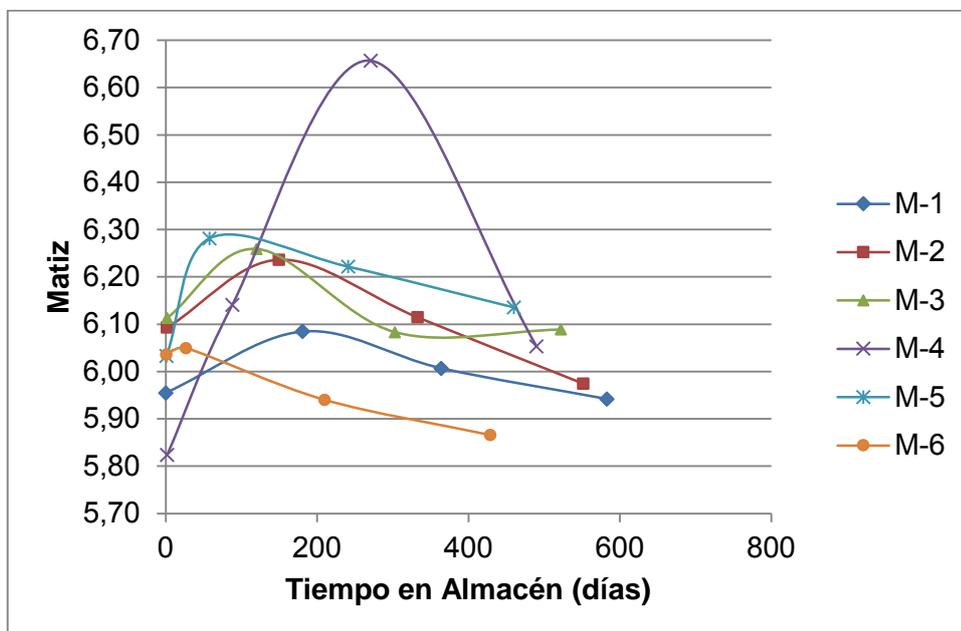


Figura 4.8: Perfil de matiz a lo largo de los días de vida en anaquel  
Fuente: Elaboración propia

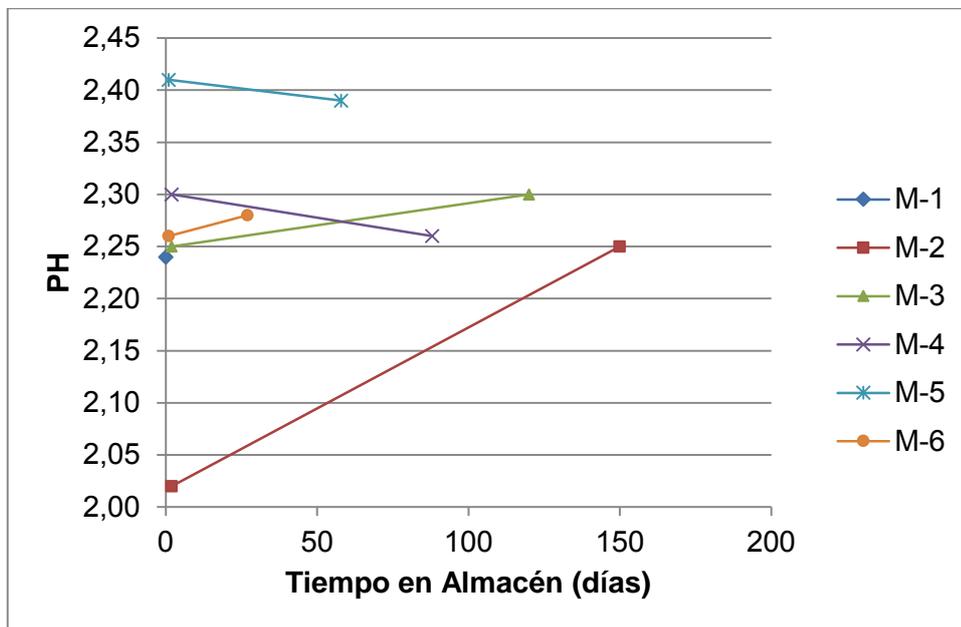


Figura 4.9: Perfil de pH para un tiempo de almacenamiento natural.

Fuente: Elaboración propia.

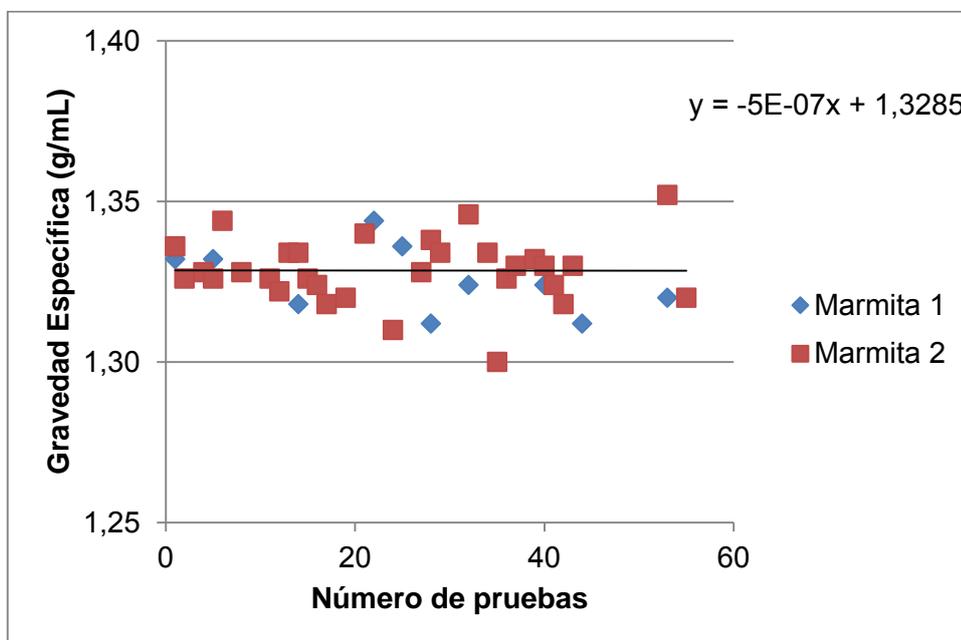


Figura 4.10: Perfil de variación de la gravedad específica para cada marmita.

Fuente: Elaboración propia.

### **Gravedad Específica**

Esta propiedad presenta un comportamiento aparentemente desordenado pero de acuerdo al intervalo de dispersión, regularmente estable; ya que presenta una variación en un rango pequeño de amplitud entre 1,30 y 1,35; independientemente del tipo de azúcar y de cada marmita. Ver figura 4.10.

### **Viscosidad**

La viscosidad varía para cada velocidad de giro con tendencia asintótica pues mientras más pequeña sea la velocidad de giro más grande se hace la viscosidad, y a manera que aumenta la velocidad de giro, la viscosidad tiende a ser constante. Para el azúcar Cabaña la viscosidad del colorante proveniente de la Marmita 1 y de la Marmita 2 tienen un comportamiento similar, de la misma forma para el caso del azúcar Risaralda, solo cabe resaltar que el valor de la viscosidad final de la Marmita 2 siempre es mayor al de la Marmita 1 para cada tipo de azúcar. Entre cada clase de azúcar hay una pequeña diferencia ya que la viscosidad, para el azúcar cabaña, crece con mucha más notoriedad a pequeñas velocidades acercándose de esta manera a un valor asintótico (ver figura 4.11), es decir presenta una mayor sensibilidad a pequeñas velocidades de giro, lo que evidencia una menor viscosidad. Por otro lado, en el caso del caramelo a partir del azúcar Risaralda, la viscosidad no describe una marcada asintota a pequeñas velocidades (convirtiéndose en cero fácilmente debido su mayor viscosidad) y al aumentar la velocidad de giro, se observa que la viscosidad se hace constante pero a valores ligeramente mayores con respecto al caramelo proveniente del azúcar Cabaña, confirmando así la primera afirmación. Por lo tanto el colorante caramelo a partir del azúcar Risaralda posee mayor viscosidad que el colorante a partir del azúcar Cabaña.

Cuadro 4.3: La viscosidad en cada velocidad de giro del viscosímetro de Brookfield y para dos tipos de azúcar y las dos marmitas

VELOCIDAD (rpm)	VISCOSIDAD			
	Azúcar Cabaña		Azúcar Risaralda	
	Marmita 1	Marmita 2	Marmita 1	Marmita 2
0,3	3200	3400	1700	1700
0,6	1800	2000	1200	1160
1,5	880	1000	670	770
3,0	700	800	580	680
6,0	600	810	630	880
12,0	700	835	800	1020
30,0	808	958	900	1194
60,0	814	968	925	1176

Fuente: Elaboración propia.

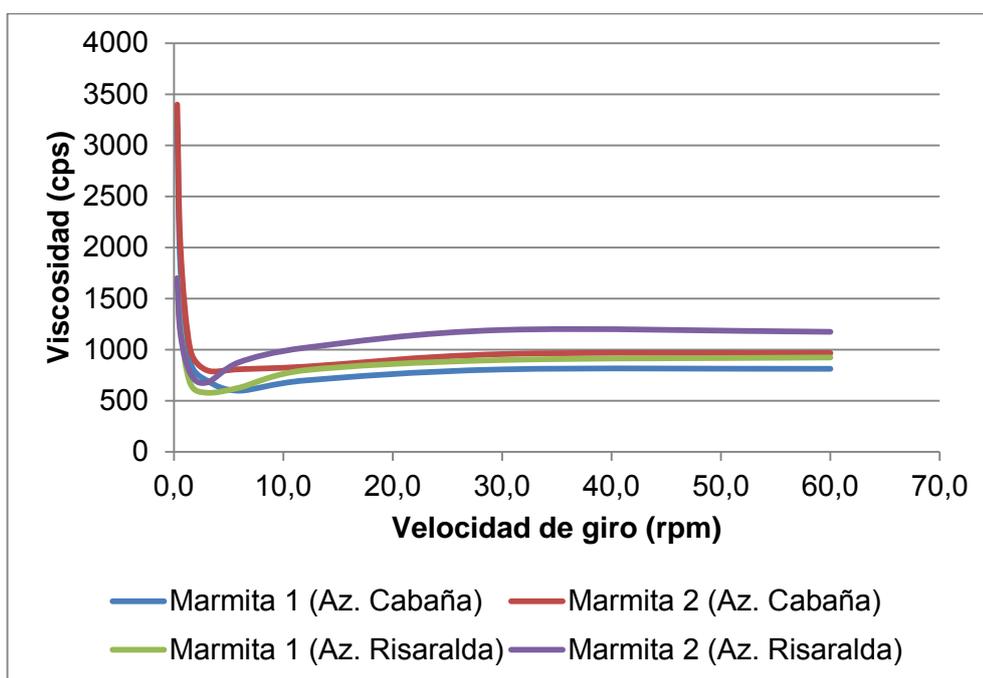


Figura 4.11: Perfil de comportamiento de la viscosidad en función a la velocidad de giro, para cada tipo de azúcar y para cada marmita

Fuente: Elaboración propia

En conclusión, la viscosidad de colorante caramelo proveniente de la Marmita 2, para todos los ensayos realizados, siempre es mayor en comparación al colorante de la Marmita 1, ya que la acelerada caramelización en la Marmita 2 no permite tener el tiempo suficiente como para evaporar la misma cantidad de agua que se elimina por evaporación en la Marmita 1 (caramelización lenta).

### Potencial de Hidrogeno

El pH muestra un comportamiento bastante estable en un rango entre 2,0 y 2,5 en la mayoría de las pruebas, independientemente del tipo de azúcar y de cada marmita. A excepción de uno o dos picos superiores en el caso del azúcar Incauca, que se observa en la figura 4.12 y en la figura 4.13. Resultando una tendencia de  $\text{pH}=2,2$  en las dos marmitas.

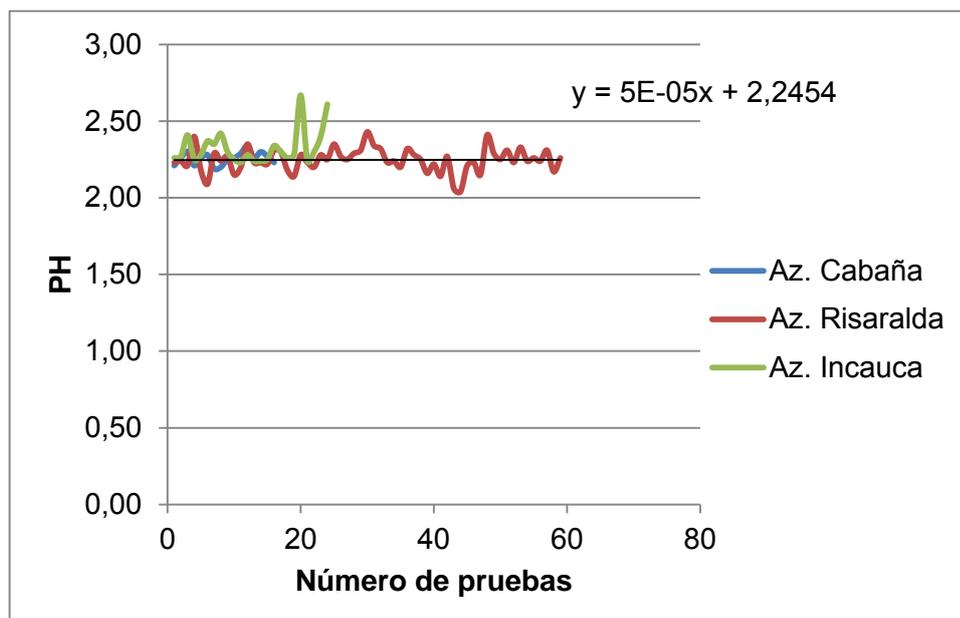


Figura 4.12: Perfil de variación del pH para cada tipo de azúcar (Marmita 1)  
Fuente: Elaboración propia

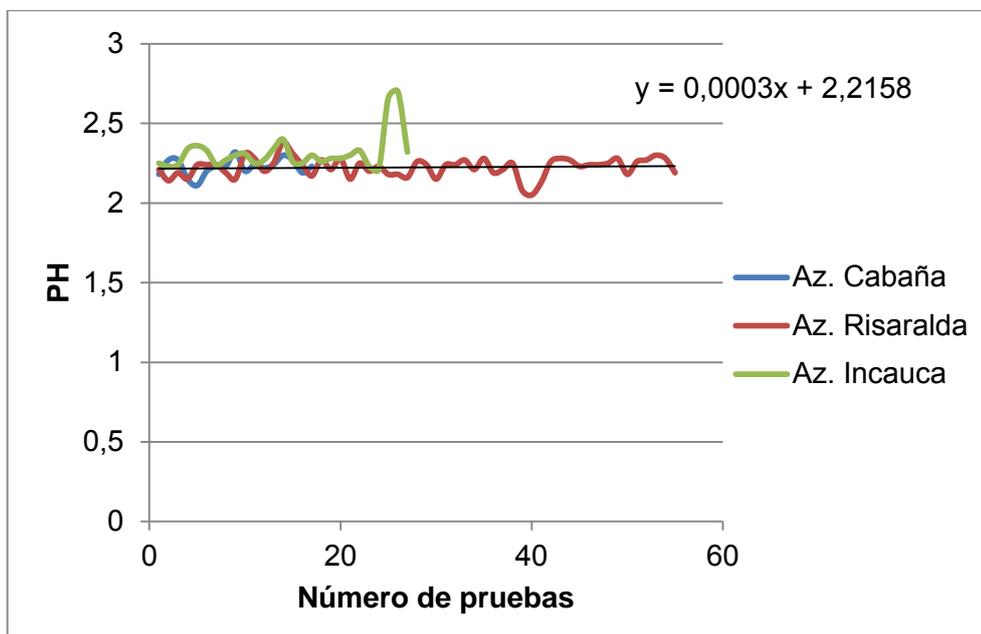


Figura 4.13: Perfil de variación del pH para cada tipo de azúcar (Marmita 2)

Fuente: Elaboración propia

### Punto Isoeléctrico

Cuadro 4.4: Resultados de probabilidad de formación de precipitado a un determinado pH para la prueba del punto isoeléctrico.

PH	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
<b>Pruebas realizadas</b>	5	20	22	4	17	2
<b>Pruebas con precipitación de sólidos</b>	0	6	11	2	14	2
<b>Porcentaje de probabilidad que precipite</b>	0%	30%	50%	50%	82%	100%

Fuente: Elaboración propia

La formación de precipitado evidencia la combinación de cargas opuestas, pues la solución de gelatina garantiza una carga positiva en cada uno de los pH ácidos analizados, y en el caso del caramelo aporta una carga positiva y no precipita al mezclarse por el efecto de repulsión de cargas opuestas

(cuando  $\text{pH} < \text{PI}$ , carga iónica total positiva), y esto ocurre normalmente a un  $\text{pH}=1,0$  y frecuentemente a  $\text{pH}=1,5$  (con un 30% de probabilidad que precipite), pero cuando el  $\text{pH} > \text{PI}$  (carga iónica total negativa) se tiene la formación de precipitado sólido a consecuencia del efecto de atracción de cargas opuestas y esto ocurre a  $\text{pH}=4,0$  y en la mayoría de veces a  $\text{pH}=3,0$  (con un 82% de probabilidad que precipite); entonces si el valor de PI del caramelo se define por la aparición del precipitado; por lo tanto el PI del caramelo debe comprender en el rango de 2,0 a 2,5 de pH ya que a partir de estos valores existe una probabilidad de 50% de que precipite.

Existe alta probabilidad de que se forme precipitado a un pH mayor o igual a 4,0 y la posibilidad de formación a  $\text{pH}=1,0$  es nula. Mientras que para  $\text{pH}=1,5$  es poco probable que se forme precipitado y muy probable que se forme para un  $\text{pH}=3,0$ ; quedando un 50% de probabilidad que se forme precipitado entre los valores 2,0 y 2,5 de pH, como se muestra en la figura 4.14. Además el cuadro 4.4 muestra una mayor probabilidad, de acuerdo al número de pruebas realizadas, que el valor de PI se encuentra al cercano al valor de  $\text{pH}=2,0$ ; dependiendo de la composición final del colorante que varía en función a los valores que se adoptaron a lo largo del proceso de caramelización. La descripción de la apariencia del precipitado para cada prueba se encuentra en el Anexo D.

### **Análisis Microbiológico**

Dos muestras de lotes distintos de caramelo fueron analizados, los cuales tienen un tiempo de almacenamiento diferente, pero aun así se observa que las muestras no han sufrido contaminación con ninguna clase de microbio. Solo se tiene que el segundo colorante (el más fresco) presenta una pequeña cantidad de levadura que no sobrepasa el límite inferior permitido; posiblemente debido a la presencia de mayor cantidad de azúcares reductores, pues el poder tintóreo es menor en comparación a la primera muestra, lo cual puede deberse a una caramelización menos eficiente de ésta.

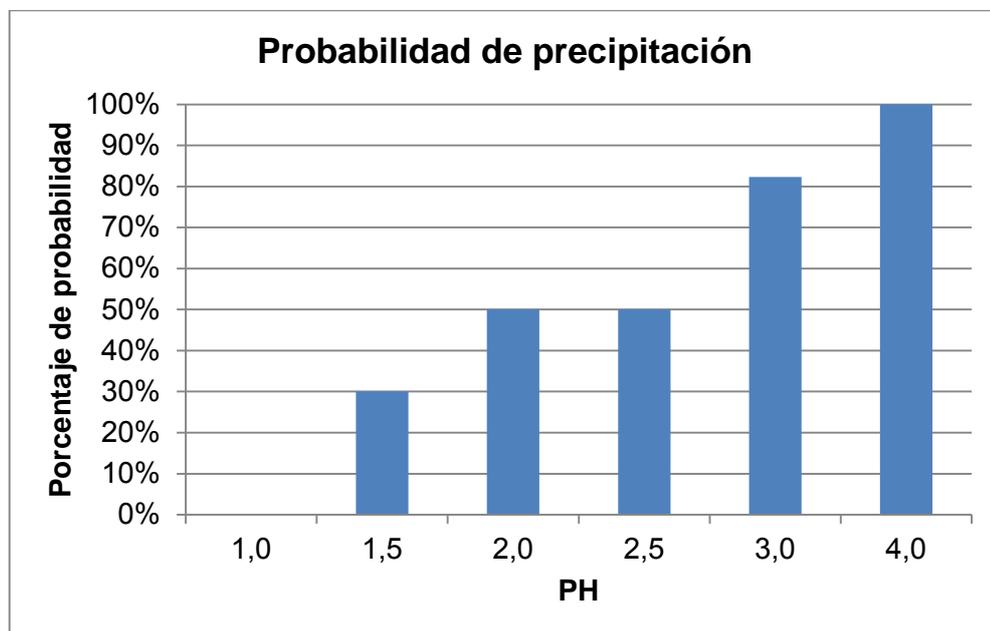


Figura 4.14: Porcentaje de probabilidad de formación de precipitado a un determinado pH en la prueba del punto isoeléctrico.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.5: Resultados del Análisis Microbiológico de dos lotes de colorante caramelo

Tiempo en anaquel (meses)	Coliformes (UFC/g)*	Aerobios (UFC/g)*	Mohos (UFC/g)*	Levaduras (UFC/g)*	Salmonella (UFC/g)*
7	<10	<10	<10	<10	Ausencia
2	<10	<10	<10	<10 (5)	Ausencia

(UFC/g)\*: Unidad formadora de colonia por gramo de muestra

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto se confirma que la intensidad de color y la compatibilidad son las propiedades finales más sensibles a las variaciones en el proceso de caramelización; mientras que las demás propiedades tienen resultados de tendencia constante.

#### 4.2.2. Determinación de las variables independientes

Son las responsables de las variaciones en la composición final del colorante, dichas variables son analizadas y comparadas con la propiedad final más sensible (el poder tintóreo) y de aquí se tiene las variables que definen la particularidad de cada lote de colorante:

- El tiempo: el proceso de caramelización está comprendido en tres etapas (Figura 3.1), por lo tanto hay un tiempo representativo para cada una de estas etapas, tiempo de fusión, tiempo de caramelización (comprendida por el tiempo de pardeamiento y tiempo de permanencia a Tmax) y tiempo de dilución.
- La temperatura máxima alcanzada.
- La velocidad de calentamiento, variable que se mide a través del porcentaje de abertura de la válvula de gas.
- La agitación.

Desde ya, el tipo de azúcar y el tipo de marmita son dos variables presentes en el análisis.

##### **Tiempo de fusión:**

Es el tiempo de la primera etapa del proceso de caramelización y representa un tercio del tiempo total del proceso, ésta etapa tiene como finalidad cambiar de estado sólido a líquido el azúcar blanco refinado a través del calor proporcionado, y de esta forma líquida la sacarosa se desdoble en glucosa y fructosa por pirólisis. La duración de dicha etapa depende de la velocidad de calentamiento (flujo de entrada de gas), lo cual está relacionado con el porcentaje de abertura de la válvula de gas (ver figura 4.15), para el caso de la Marmita 2 se tiene la relación de: a mayor porcentaje de abertura menor tiempo de fusión, pero para la Marmita 1 no se encuentra mucha diferencia en el tiempo de fusión cuando se varía la abertura, y esto se puede deber a que el flujo de calor proporcionado no tiene la suficiente intensidad para producir variaciones en el tiempo de fusión, lo cual explica la lentitud con que se lleva a cabo el proceso en la Marmita 1 en comparación con la Marmita 2. Por tanto, en base a la figura 4.15, se puede comentar que la misma abertura de válvula no garantiza el mismo flujo de gas para ambas marmitas.

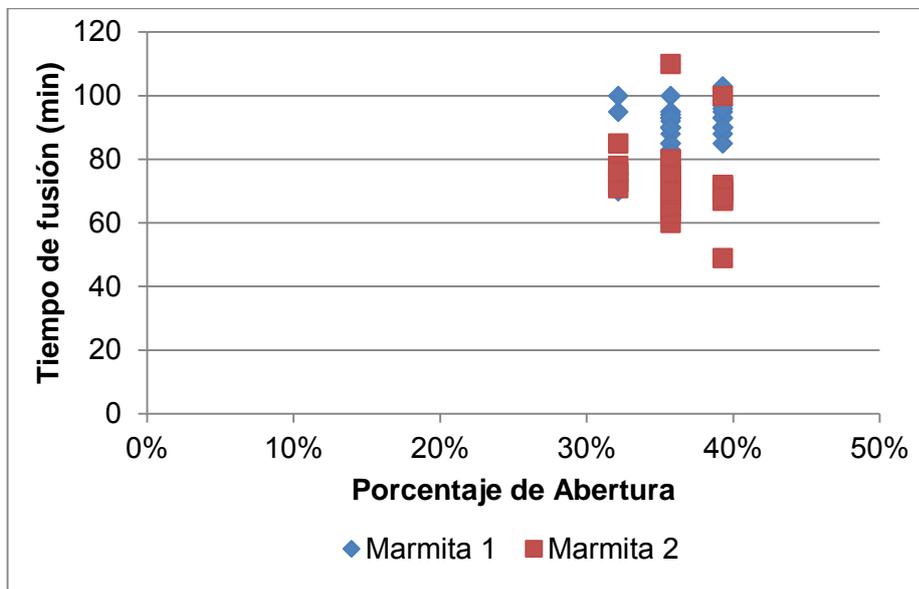


Figura 4.15: Tiempo de fusión en función al porcentaje de abertura en la primera etapa de caramelización.  
Fuente: Elaboración propia.

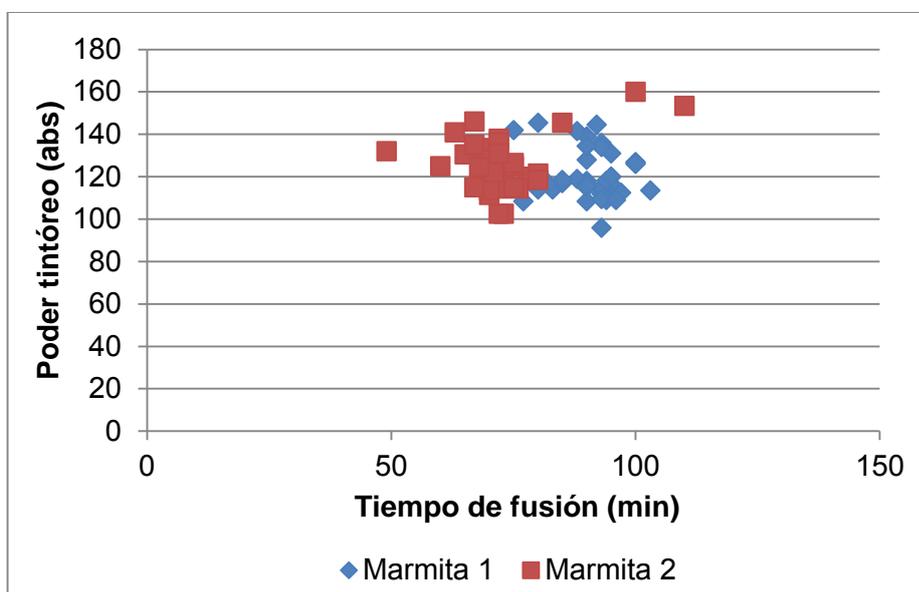


Figura 4.16: Poder Tintóreo en función del tiempo de fusión en el proceso de caramelización.  
Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la influencia que pueda causar este tiempo, al poder tintóreo final, no se encuentra un cambio determinado de dicha propiedad cuando se tiene mayor o menor tiempo de fusión; rescatando solo que la Marmita 2 tiene un menor tiempo de fusión que la Marmita 1, para dar resultados variados de color en un mismo rango de valores para ambos casos (ver la figura 4.16).

### **Tiempo de pardeamiento en la caramelización**

Es el tiempo que corresponde a la segunda etapa del proceso de caramelizado. En esta etapa se producen las reacciones de caramelización propiamente dichas, ya que se tiene los monosacáridos reductores listos para formar compuestos coloreados y aromáticos a través de la isomerización, polimerización, entre otras reacciones; los cuales son constituyentes finales del colorante caramelo. En dicho tiempo se tiene el fenómeno de deshidratación, en forma paralela a la caramelización, eliminando una mínima cantidad de agua ya que la materia prima es una azúcar anhidra; además se tiene un incremento progresivo de la temperatura. Este tiempo debería ser el decisivo en las propiedades finales del colorante, y lo es, pero no hay diferencias al inicio, ni en un momento intermedio de esta etapa, sino al final de ella, ya que se trata de reacciones endotérmicas a lo largo de la formación de compuestos; pero una vez que se alcanza la formación mayoritaria de compuestos finales, se tiene el riesgo de un aumento de temperatura no controlado, que traiga como consecuencia la carbonización de las sustancias ya formadas, a la vez se desea la reacción de la totalidad de sus reactantes. Por lo cual en los últimos momentos de esta etapa, se disminuye el flujo de calor a través de la abertura de la válvula, y se da un tiempo adicional llamado tiempo de permanencia a  $T_{max}$ , que será el siguiente tiempo analizado.

Mientras tanto, el tiempo del que se habla en el presente punto, determina la composición mayoritaria y la consistencia con que llega la sustancia a una  $T_{max}$ , asegurando un poder tintóreo por encima del valor 100, dependiendo de la  $T_{max}$  alcanzada en el momento que se disminuye el flujo de calor. Por lo tanto el tiempo de pardeamiento no determina un resultado más óptimo que el otro, sino define la consistencia con la que puede llegar la sustancia, pues

a menor tiempo de caramelización (calentamiento acelerado) se tiene menos deshidratación, llegando a la temperatura máxima con una consistencia más fluida, lo cual es el caso del caramelo producido en la Marmita 2, que utiliza menos tiempo que la Marmita 1 como se puede observar en la figura 4.17.

### **Tiempo de permanencia a T<sub>max</sub>**

Es el tiempo utilizado para controlar los resultados finales, pues permite decidir en qué momento debe terminar la caramelización (con la adición de agua), debido al flujo de calor mínimo la temperatura aumenta muy lentamente o en su defecto se conserva. Inicia a partir de la disminución de flujo de calor y tiene una duración de 10 a 20 minutos de permanencia dependiendo de la temperatura y la consistencia con la que se inicia este tiempo. Estos minutos permite terminar la formación de todos los productos de la caramelización que faltasen y lo cual se va haciendo evidente con el aumento de la viscosidad de la masa, ya que la polimerización de los compuestos finales es la última etapa de la caramelización, por lo cual estos compuestos de gran peso molecular aumentan la viscosidad final y de esta manera se alcanza la consistencia característica. Si la temperatura máxima inicial es alta, mayor a 205°C, el tiempo de permanencia es mínimo (aproximadamente 10 minutos para la Marmita 1 y 5 minutos para la Marmita 2, según la velocidad de calentamiento), debido al peligro que produce el calor remanente en el horno, el cual sigue proporcionando un flujo de calor hacia las marmitas aun después de apagado el fuego. Si la temperatura máxima inicial es menor a 205°C, el tiempo de permanencia se encuentra ente 10 y 20 minutos; y cuando la temperatura se eleva por encima de 213°C emite un olor a quemado, lo que evidencia el inicio del carbonizado. Este tiempo es una variable de perturbación principal que interviene en el proceso de manera conjunta con la temperatura máxima alcanzada y que será analizado en cada ensayo más adelante junto a las demás variables independientes, ya que no se encuentra relación alguna en función solo al tipo de marmita (ver figura 4.18).

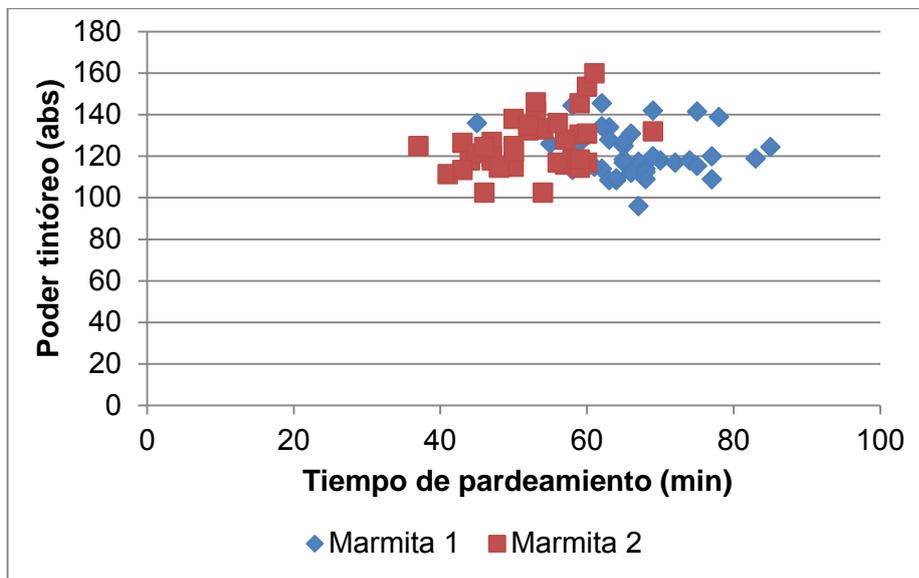


Figura 4.17: Poder Tintóreo en función del tiempo de pardeamiento en el proceso de caramelización.

Fuente: Elaboración propia.

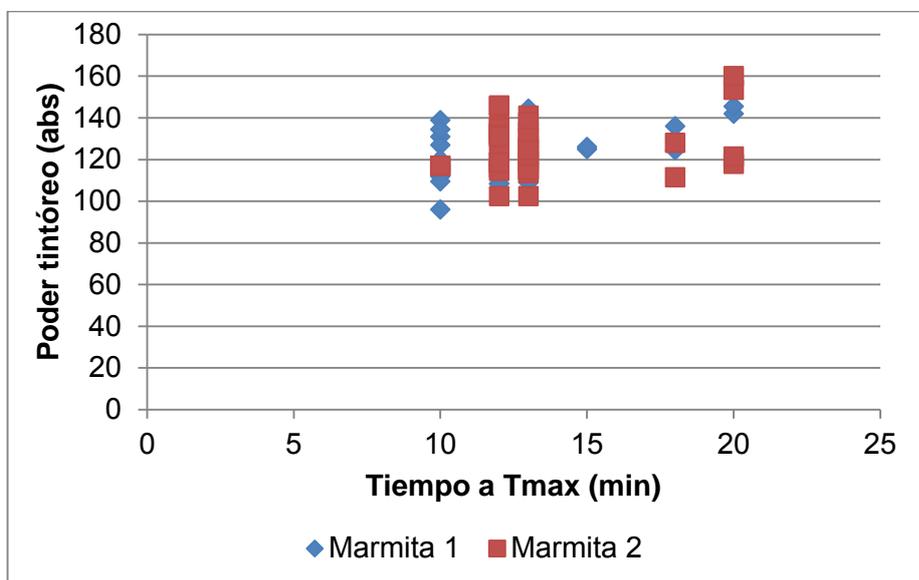
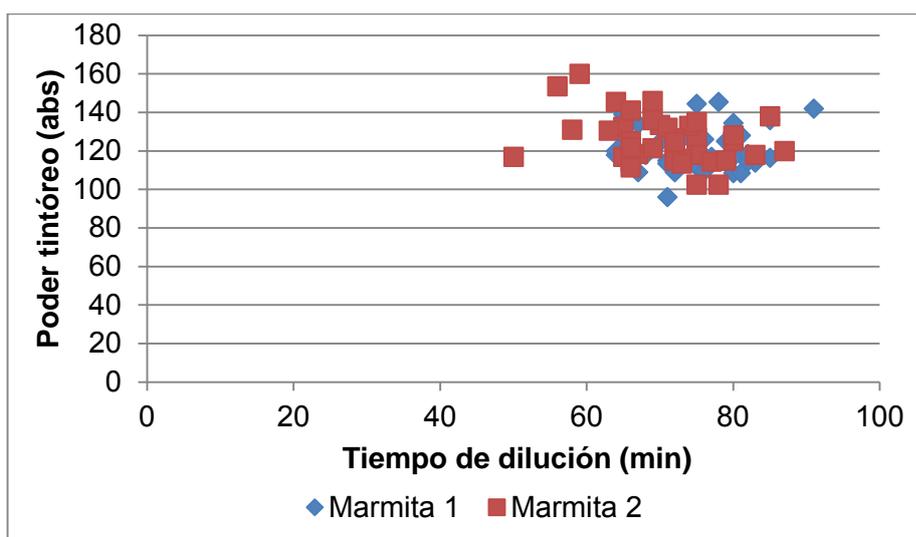


Figura 4.18: Poder Tintóreo en función del tiempo de permanencia a Tmax en el proceso de caramelización.

Fuente: Elaboración propia.

### Tiempo de Dilución

Es el tiempo empleado en la dilución del caramelo solidificado, para poder ser almacenado y utilizado en estado líquido. Se utiliza nuevamente el calentamiento para llevar a cabo la dilución, con la adición de dos porciones agua que facilitan alcanzar el propósito, en esta etapa la temperatura no supera los 100 °C, por lo cual la finalidad aquí no consiste en formar más productos de caramelización, sino llevar el colorante a un estado líquido con una viscosidad ya característica del presente caso. Por lo tanto este tiempo no interviene directamente en la propiedad final más importante, el poder tintóreo, siendo éste indiferente de las variaciones de dicho tiempo, como se puede observar en la figura 4.19.



mayor rapidez de calentamiento de dicha marmita, por lo cual el tiempo de permanencia siempre tiende a ser mínimo, limitado por el temor de alcanzar una temperatura superior a los 213°C, donde emana un olor a quemado y el humo adquiere un color amarillo intenso, evidenciando el inicio de la carbonización del caramelo. Lo contrario sucede en la Marmita 1, teniendo una velocidad de calentamiento lento, es más controlable el tiempo de permanencia a Tmax, por lo cual al disminuirle el flujo de calor a distintas Tmax, se puede mantener dicha temperatura los minutos que sean necesarios para alcanzar la consistencia deseada, pudiéndose alcanzar una misma intensidad para distintas Tmax (ver figura 4.20), teniendo como límite la consistencia extremadamente viscosa que se va formando conforme pasa el tiempo, de tal manera que al agregar agua, ésta no pueda difundirse en el interior de la masa del caramelo y éste siga elevando su nivel hasta rebalsar la capacidad de la marmita.

Esta es una variable muy influyente en los resultados del poder tintóreo, por lo cual será analizado en cada ensayo del diseño experimental.

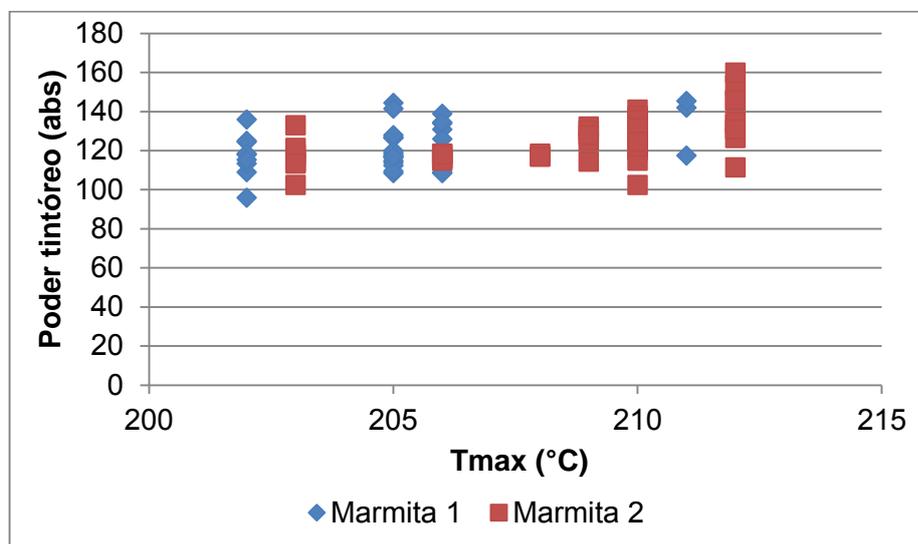


Figura 4.20: Poder Tintóreo en función de la Tmax en el proceso de caramelización

Fuente: Elaboración propia.

### **Velocidad de Calentamiento**

La velocidad de calentamiento depende del flujo de calor suministrado al sistema, y éste se controla a través del porcentaje de abertura de la válvula de gas de los quemadores. De esta variable depende la consistencia con la que el caramelo llega a la  $T_{max}$ , ya que si el flujo de calor es abundante se tiene una caramelización acelerada, llegando a la  $T_{max}$  con una consistencia muy fluida debido al poco tiempo para la eliminación del agua y para la formación de los compuestos coloreados, teniendo dos opciones: disminuir el flujo a temperaturas altas y pocos minutos, lo cual no permite alcanzar una viscosidad adecuada (polimerización); ó disminuir el flujo a temperaturas bajas y mayor tiempo de permanencia, lo cual provocará alcanzar una viscosidad adecuada pero al no alcanzar una temperatura alta en promedio, no se tiene una formación mayoritaria de compuestos finales y solo polimerizan los compuestos formados hasta entonces que aumentan la viscosidad sin una conversión eficaz en cuanto a las reacciones de caramelización, resultando valores de poder tintóreo bajos en las dos opciones. Si el flujo de calor es escaso el tiempo de caramelización es extenso eliminando mayor cantidad de agua (que actúa como catalizador de las reacciones de caramelización), lo cual provoca un aumento de viscosidad antes de tiempo y se tiene que interrumpir el proceso a bajas temperatura debido a la consistencia espesa; dando también de esta manera bajos resultados de poder tintóreo.

De acuerdo al ensayo realizado con la finalidad de hallar la velocidad de consumo de Gas en el proceso de Caramelizado (Anexo E), se tiene que los flujos de calor que ingresan para cada una de las marmitas son distintos, por lo cual el porcentaje de abertura de gas de cada quemador resulta proporcionalmente relativo a su respectivo flujo. Los porcentajes de flujos monitoreados son: 32%, 36% y 39%. Para la Marmita 2 se tiene que a mayor porcentaje de abertura, los resultados del poder tintóreo son más favorables, es decir para este caso es más conveniente un calentamiento acelerado (con respecto solo a estas 3 opciones de abertura). Para la Marmita 1, 36% y 39% de abertura proporcionan resultados altos en cuanto al poder tintóreo. Ver figura 4.21.

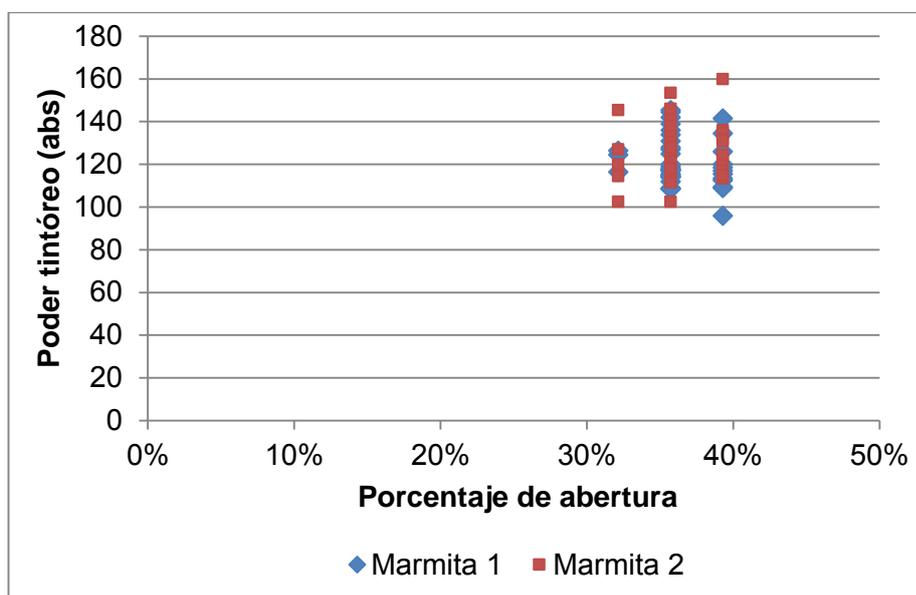


Figura 4.21: Poder Tintóreo en función del porcentaje de abertura de la válvula de gas.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las marmitas que integran el sistema en estudio, de acuerdo a los datos obtenidos (cada una con su respectivo quemador de gas natural), las variables influyen en cada una de ellas de manera independiente y esto se debe a las diferencias en sus características, identificando la principal en el anexo E, que se evidencia con una desigualdad en el flujo de gas de cada quemador, lo cual explica la mayor rapidez de caramelización en la Marmita 2 en comparación con la Marmita 1. Esta mayor rapidez de consumo de gas provoca un rápido aumento de la temperatura, y a su vez una menor facilidad de control del sistema cuando se trata de mantener constante la temperatura máxima, teniendo como consecuencia mayores valores en los resultados de los análisis finales realizados al colorante procedente de la Marmita 2.

## **Agitación**

La agitación es necesaria en la etapa de pardeamiento del caramelo, pues una vez fundido el azúcar se mueve de forma convectiva, pero a medida que la viscosidad aumenta, crece la posibilidad de una transmisión de calor no homogénea y esto produzca la carbonización del caramelo por zonas profundas. Por lo cual a partir de una temperatura de 185°C el caramelo debe ser agitado, ya que la fluidez termina y empieza a elevar su nivel debido a las burbujas de vapor que se forman en su interior, las cuales no tienen la facilidad de salir a la superficie y liberar dicho vapor. La agitación permite controlar el nivel del caramelo para que no sobrepase la capacidad de la marmita, homogenizar la transmisión de calor en el caramelo y ésto permita llegar a temperaturas superiores a las del promedio, disminuyendo el peligro de una carbonización zonal y dando la oportunidad de que la mayor parte de los reactantes se conviertan en productos coloreados.

En el caso de no implementar la agitación, es conveniente disminuir el flujo de calor a temperaturas bajas y se conseguirá buenos resultados; pero con la implementación de una agitación oportuna, se llegará a la misma temperatura con una consistencia más fluida, lo que permitirá seguir el proceso de calentamiento hasta conseguir la misma consistencia y ésta será alcanzada a una mayor temperatura, lo cual es un indicador de que los resultados de poder tintóreo serán superiores al primer caso; pues gracias a la agitación el caramelo no llega a la consistencia requerida de la misma forma en los dos casos, dando la facilidad de aumentar la temperatura máxima final en el segundo caso. Ver figura 4.22.

Por lo tanto se obtiene mejores resultados en el caso de implementar la agitación, ya que esta actividad homogeniza el caramelo evitando la carbonización por áreas y redistribuyendo el calor para la facilitar la reacción mayoritaria de los reactantes. Permitted así, llegar a temperaturas más altas de lo alcanzado en promedio sin que emita señales de carbonización.

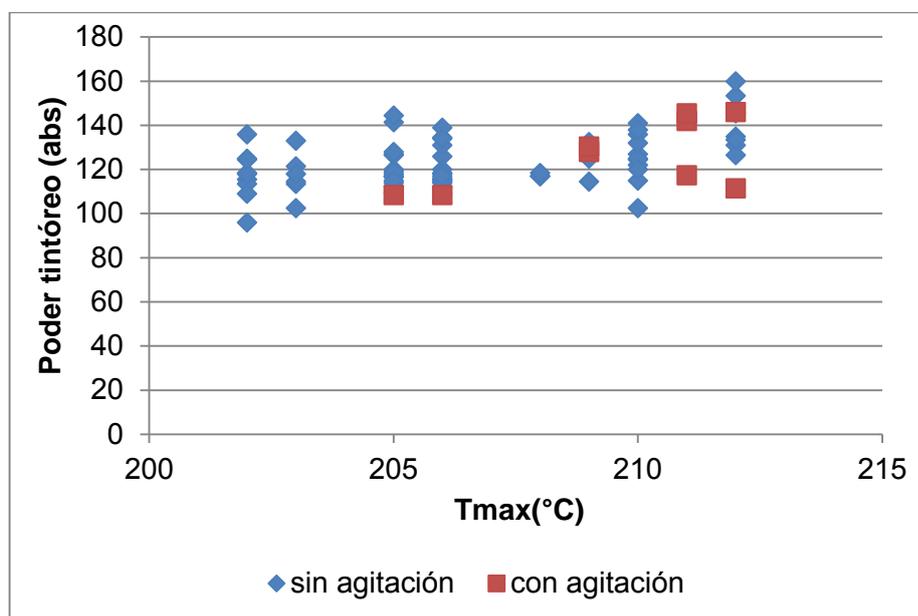


Figura 4.22: Poder Tintóreo en función a la Tmax sin agitación y con agitación.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.3. Relación de dependencia de variables

Se tiene como variables dependientes más importantes y más afectadas ante cualquier perturbación en el sistema en estudio: El poder tintóreo y la compatibilidad (sólidos precipitados).

Y como variables independientes (cuya variación causan la perturbación de las variables dependientes) se tiene: Tiempo de permanencia a Tmax, Temperatura máxima (Tmax) y la velocidad de calentamiento (porcentaje de abertura de la válvula de gas); las cuales son analizadas para cada marmita (Marmita 1 y Marmita 2) y para cada tipo de azúcar (azúcar Cabaña, azúcar Risaralda y azúcar Incauca).

##### a) Ensayo A: Marmita 1- Azúcar Cabaña

Como resultado de los ensayos tipo A se tiene que a mayor tiempo de permanencia a Tmax el poder tintóreo tiene una tendencia ascendente;

aunque para 39 % de abertura se tiene tres resultados distintos de intensidad de color para un mismo tiempo de permanencia, como se puede observar en la figura 4.23. Las isóclinas tienen similares trayectorias para los dos porcentajes de aberturas.

Con respecto a la Tmax, a 36% de abertura, resulta una tendencia descendente del poder tintórea a medida que se eleva la Tmax alcanzada ya que se tiene bastante influencia del tiempo de permanencia, pues a una temperatura de 202°C y 15 minutos de permanencia se tiene mayor poder tintóreo que a 206°C y 10 minutos de permanencia. Mientras que a 39% las temperaturas son similares y altas, los resultados de poder tintóreo lo deciden los tiempos de permanencia de dicho ensayos, como se ve en la figura 4.24.

Se tiene resultados similares de compatibilidad a través de la precipitación de sólidos, a tiempos y temperaturas diferentes, aún cuando en dichos ensayos se tuvieron resultados muy distintos y distantes en poder tintóreo.

Por lo tanto en el ensayo de Marmita 1- Azúcar Cabaña se tiene una mayor influencia del tiempo de permanencia a Tmax, antes que la variación de temperatura y el porcentaje de abertura.

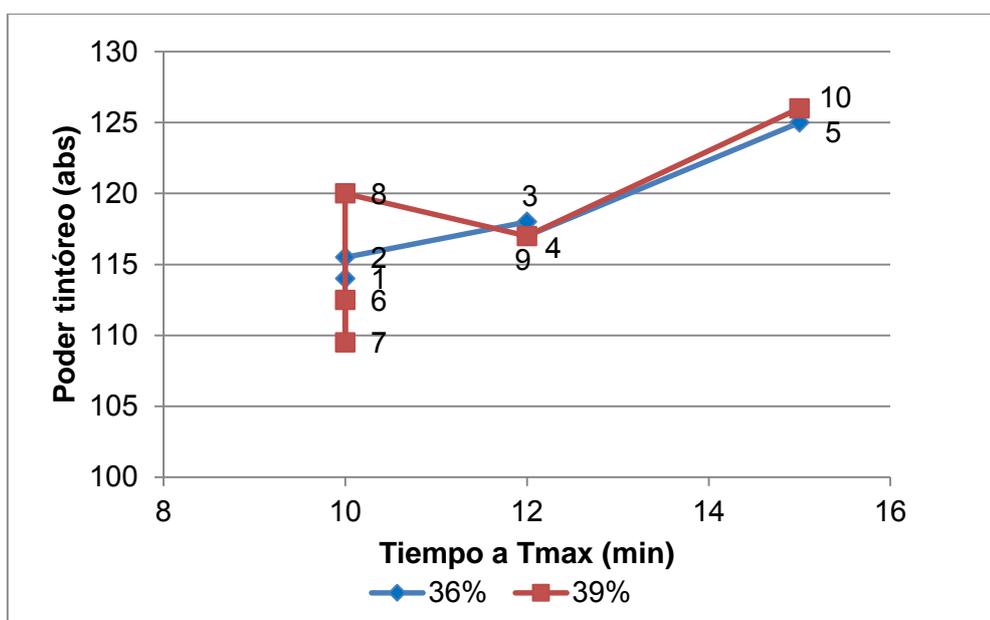


Figura 4.23: Poder tintóreo en función al tiempo de permanencia a Tmax (Marmita 1- Azúcar Cabaña)

Fuente: Elaboración propia.

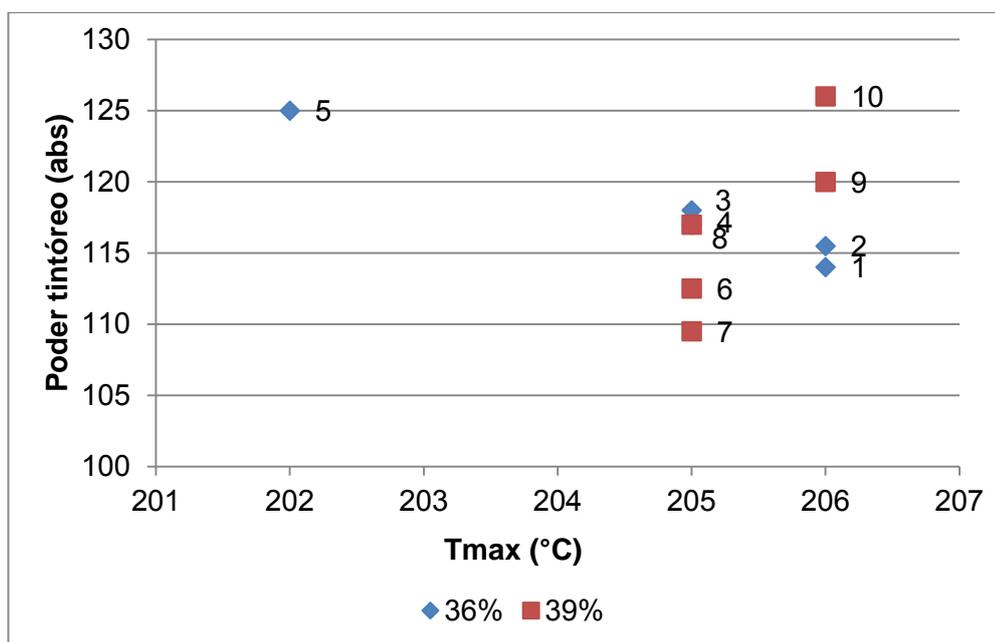


Figura 4.24: Poder Tintóreo en función de la Tmax (Marmita 1- Azúcar Cabaña)

Fuente: Elaboración propia.

#### b) Ensayo B: Marmita 2- Azúcar Cabaña

Como resultado de los ensayos tipo B se tiene que a mayor tiempo de permanencia a Tmax el poder tintóreo presenta una tendencia ascendente para el caso de 36 % de abertura, mientras que para 39%, la intensidad de color resultante son valores similares para diferentes tiempos como se muestra en la figura 4.25.

A medida que se eleva la Tmax se tiene una tendencia ascendente del poder tintóreo a 36% de abertura. Mientras que a 39% las temperaturas son similares y altas dando colores similares entre sí (ver figura 4.26). Pero se tiene una marcada diferencia de resultados en cuanto a los porcentajes de abertura, ya que los valores de poder tintóreo son mayores para 36% que para 39%.

Se obtiene una mínima precipitación de sólidos, por lo tanto alta compatibilidad a 36% de abertura; a 39% presenta una mayor precipitación de sólidos, pero en cantidad moderada que aún conserva una buena compatibilidad en solución.

Por lo tanto en el ensayo de Marmita 2- Azúcar Cabaña se tiene una mayor influencia del porcentaje de abertura, siendo más adecuado la menor abertura. Seguido por la Tmax y por último el tiempo de permanencia a Tmax.

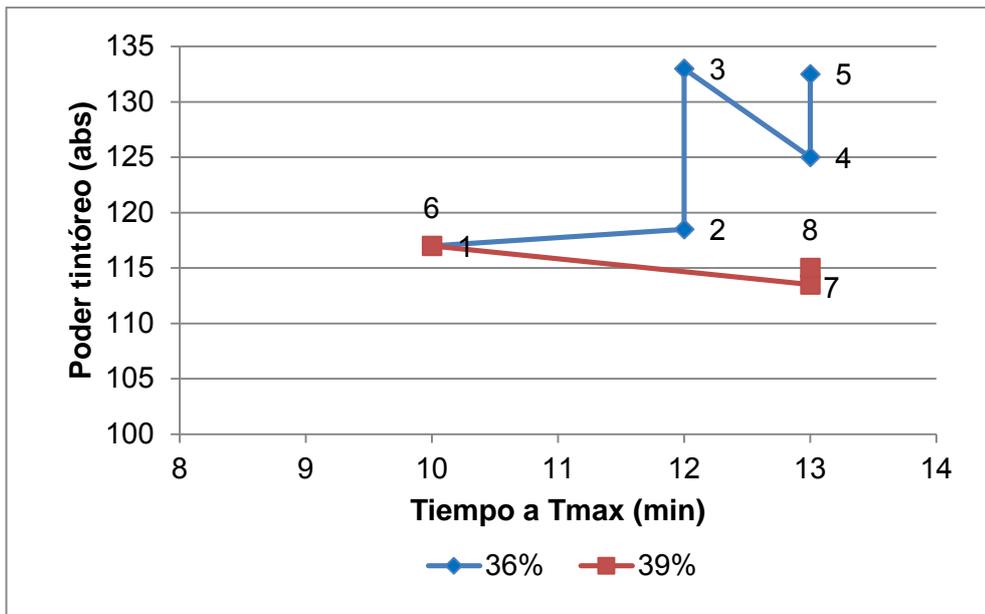


Figura 4.25: Poder tintóreo en función al tiempo de permanencia a Tmax (Marmita 2- Azúcar Cabaña)

Fuente: Elaboración propia.

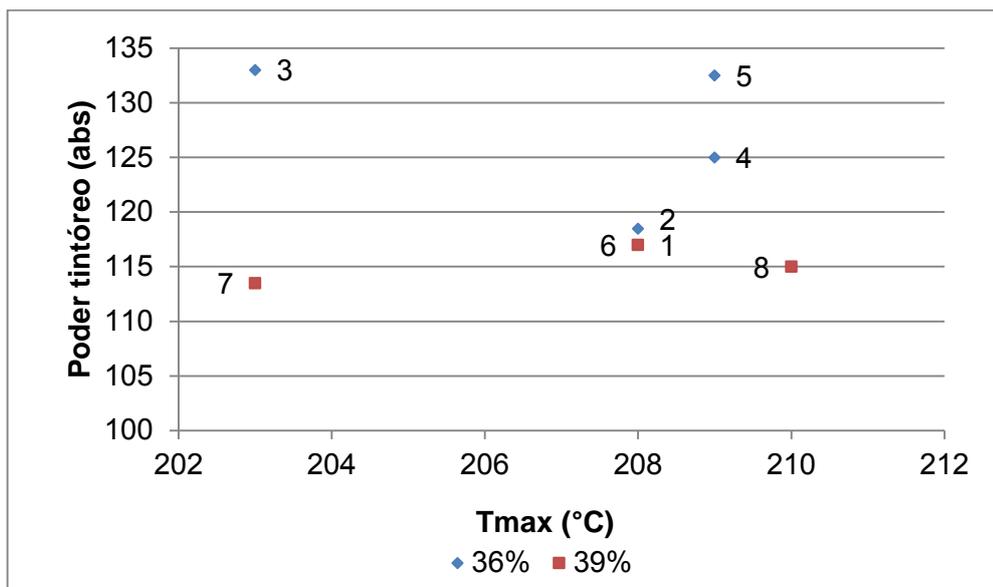


Figura 4.26: Poder tintóreo en función de la Tmax (Marmita 2- Azúcar Cabaña)

Fuente: Elaboración propia.

**c) Ensayo C: Marmita 1- Azúcar Risaralda**

Como resultado de los ensayos tipo C se tiene que: (32%) a mayor tiempo de permanencia de Tmax el poder tintóreo tiene una tendencia ascendente, (36%) a un mismo tiempo de permanencia se tiene resultados con poder tintóreo variado, mientras que para 39% los valores de intensidad de color no tienen una relación definida con respecto al tiempo de permanencia. Todo esto se observa en la figura 4.27.

Con respecto a la Tmax, a 32% de abertura se tiene valores distintos de poder tintóreo a una misma temperatura debido a los tiempos diferentes que determinan al final una mayor intensidad de color a mayor tiempo de permanencia, (36%) del mismo modo se dan casos de que a una misma temperatura tienen diferente poder tintóreo debido al tiempo de permanencia que define la diferencia, y (39%) a mayor temperatura se tiene una mayor intensidad de color aun cuando tienen el mismo tiempo de permanencia como se evidencia al observar la figura 4.28 y al contrarrestar con la figura 4.27.

Tanto a 36% como a 39% de abertura se tiene una mínima precipitación de sólidos por lo tanto alta compatibilidad, a excepción de uno de los ensayos donde se obtiene mayor formación de precipitado pero aún se considera una buena compatibilidad con respecto a otros resultados obtenidos. También resalta el hecho de que la precipitación de sólidos es mínima a pesar de haber recibido la influencia de temperaturas extremas.

Por lo tanto en el ensayo de Marmita 1- Azúcar Risaralda, a menor velocidad de calentamiento se tiene una mayor influencia del tiempo de permanencia (dando la relación: a mayor tiempo de permanencia a Tmax mayor poder tintóreo del colorante final); y a mayor velocidad de calentamiento, la Tmax es la que define la variabilidad de los resultados (la relación es: a mayor temperatura máxima alcanzada mayor es el poder tintóreo).

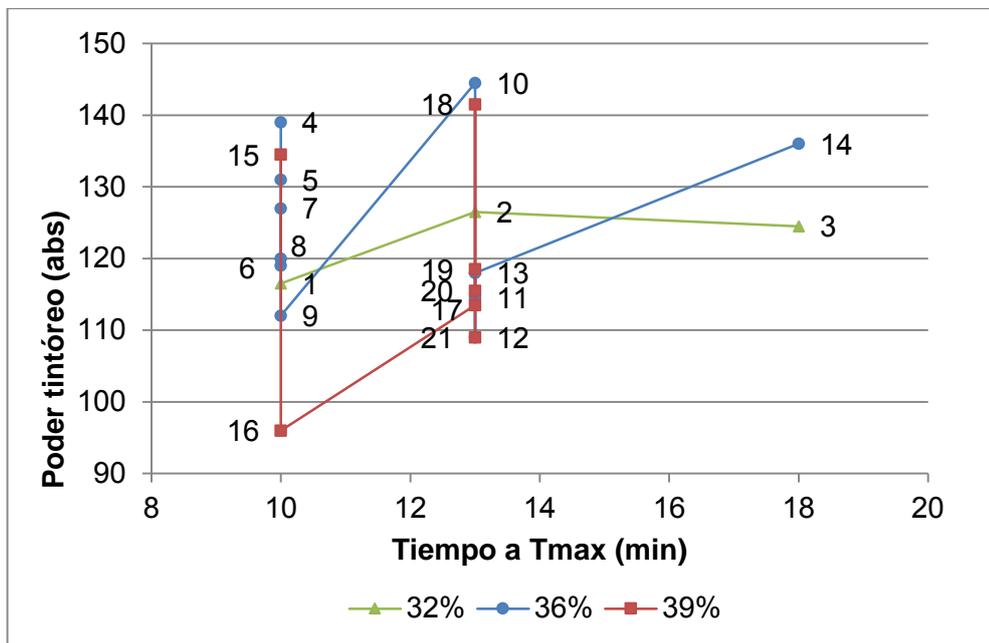


Figura 4.27: Poder tintóreo en función al tiempo de permanencia a Tmax (Marmita 1- Azúcar Risaralda)

Fuente: Elaboración propia.

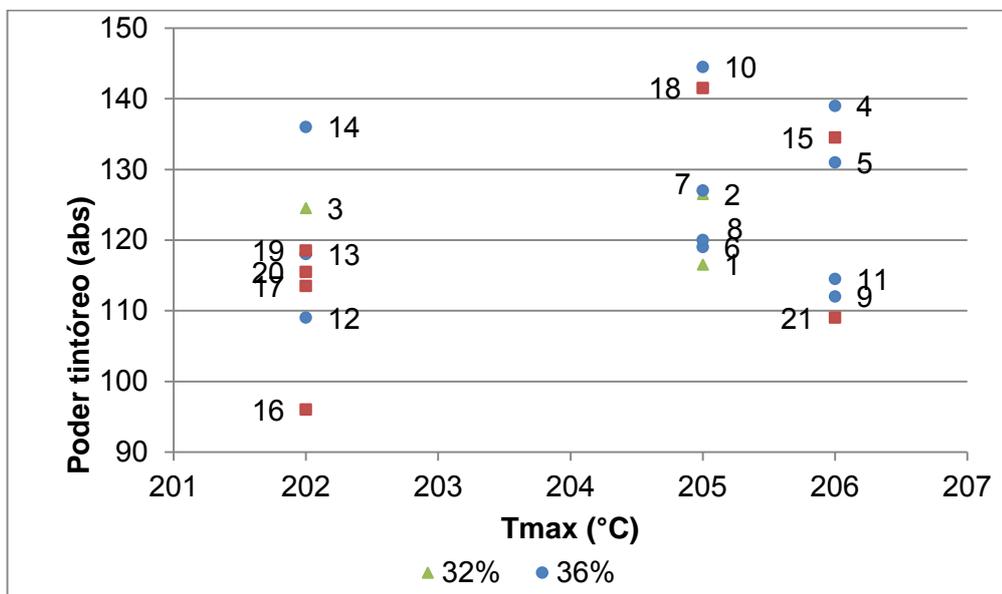


Figura 4.28: Poder tintóreo en función de la Tmax (Marmita 1- Azúcar Risaralda)

Fuente: Elaboración propia.

#### **d) Ensayo D: Marmita 2- Azúcar Risaralda**

Como resultado de los ensayos tipo D se tiene que (32%) a un mismo tiempo de permanencia a  $T_{max}$  el poder tintóreo varia en gran diferencia lo cual tiene una explicación en el valor de la  $T_{max}$  alcanzada, (36%) se tiene resultados muy variados a un tiempo de 13 minutos en donde se presentan casos que a dicho tiempo de permanencia y a una misma temperatura resultan valores de poder tintóreo distintos; pero a un tiempo de 20 minutos se obtiene muestras de diferente intensidad de color, cuya razón es directamente proporcional a la  $T_{max}$  alcanzada. (39%) se tiene tiempos similares a temperaturas similares obteniendo resultados no muy lejanos, a excepción de un caso que tiene mayor poder tintóreo como consecuencia de un mayor tiempo de permanencia y una alta  $T_{max}$  a la vez. Ver figura 4.29.

Para los tres casos de velocidad de calentamiento controlados a través del porcentaje de abertura de la válvula de gas, se tiene resultados similares en cuanto al poder tintóreo obtenido en los análisis finales. Se aprecia en las isóclinas de la figura 4.29.

Con respecto a la  $T_{max}$ , a 32% de abertura existe una tendencia ascendente del poder tintóreo con respecto al tiempo de permanencia, pero la  $T_{max}$  es quien influye de manera decisiva, es decir, pese a un mayor tiempo de exposición a una  $T_{max}$ , el poder tintóreo resultante es mucho mayor para un segundo caso de menor tiempo de exposición pero con una  $T_{max}$  mucho mayor que la del primer caso. (36%) se presentan casos con iguales  $T_{max}$  cuya diferencia se justifica en el tiempo de permanencia, pero también hay puntos que tienen las mismas temperaturas y los mismos tiempos sin embargo tienen un distinto poder tintóreo. (39%) para temperaturas máximas similares se tiene valores de intensidad de color similares a excepción de un caso en donde existe a una gran prolongación de tiempo expuesto a una  $T_{max}$ , es decir las dos variables son altas. Ver figura 4.30.

En cuanto a la compatibilidad, a 32% y 36%, se obtiene algunos valores altos de precipitación de sólidos (hasta 0.023 kg/L) entre 12 y 14 minutos de permanencia, los cuales tienen diferentes  $T_{max}$ . Normalmente se tiene hasta 0.003 kg/L para ser considerado como precipitación mínima y hasta 0.010

kg/L para ser considerado precipitación moderada. En cuanto a los demás resultados se tiene una mínima precipitación.

Por lo tanto en el ensayo de Marmita 2- Azúcar Risaralda, los resultados dependen de la Tmax alcanzada dejando de lado la influencia del tiempo de permanencia, pero en los casos en donde a un mismo tiempo y a una misma Tmax se obtiene resultados distintos de poder tintóreo, se debe a las altas temperaturas alcanzadas por el sistema y su cercanía a la temperatura umbral (aprox. 213°C), en donde se inicia la carbonización. Por lo tanto en esta situación, así aumente la temperatura, el poder tintóreo se conserva (en el mejor de los casos) o puede disminuir sus valores debido a la degradación de compuestos ya formados.

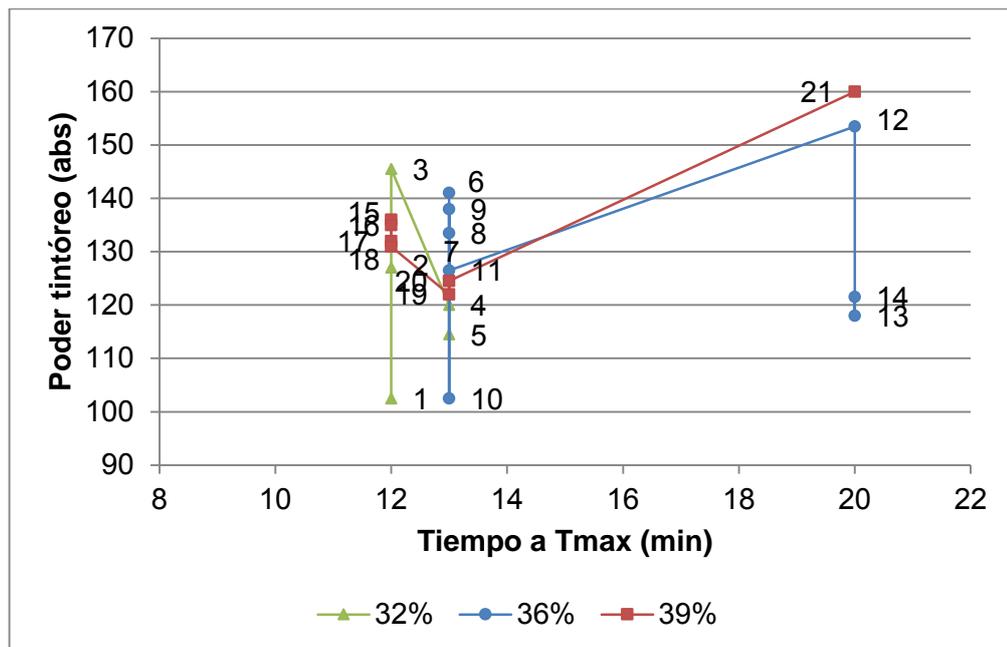


Figura 4.29: Poder tintóreo en función al tiempo de permanencia a Tmax (Marmita 2- Azúcar Risaralda)

Fuente: Elaboración propia.

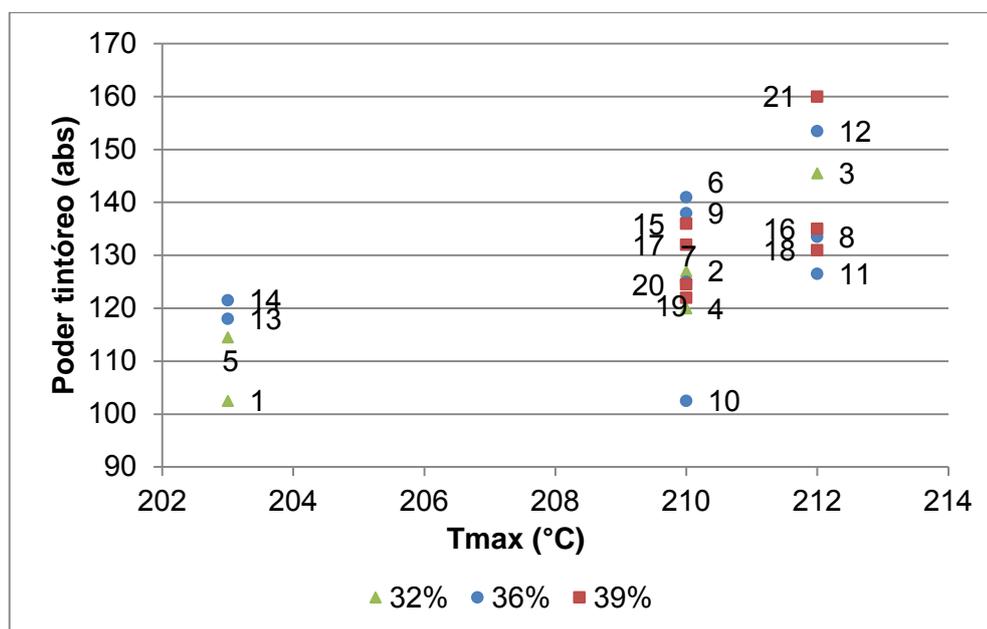


Figura 4.30: Poder tintóreo en función de la Tmax (Marmita 2- Azúcar Risaralda)

Fuente: Elaboración propia.

#### e) Ensayo E: Marmita 1- Azúcar Incauca

Como resultado de los ensayos tipo E se tiene que a medida que el tiempo de permanencia aumenta, el poder tintóreo tiende a ascender. En la figura 4.31 se muestra algunas excepciones de los primeros puntos que tienen una apariencia aglomerada debido a tiempos y temperaturas similares.

En el poder tintóreo, en función a la temperatura máxima, se tiene que a mayor Tmax los resultados del poder tintóreo ascienden a valores altos, y la diferencia de temperatura justifica la intensidad de color de algunos puntos a tiempos de permanencia iguales; a excepción de un caso que tiene un bajo poder tintóreo pese a una alta Tmax pero puede deberse a un mínimo tiempo de permanencia expuesto a ésta temperatura. Este caso es el punto 1 que se muestra en la figura 4.32.

Se obtiene mínima precipitación de sólidos, por lo tanto una buena compatibilidad, independientemente de los distintos tiempos y temperaturas. Por lo tanto en el ensayo de Marmita 1- Azúcar Incauca, (habiéndose experimentado a una sola velocidad de calentamiento), se tiene una mayor

influencia del tiempo de permanencia a Tmax que se aprecia en la figura 4.31, donde se observa una marcada curva de relación directa.

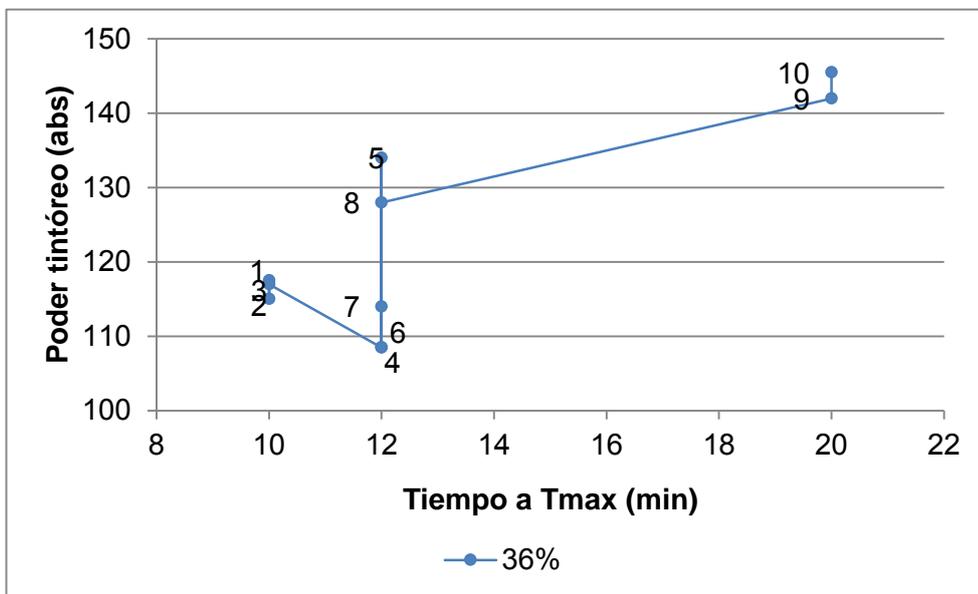


Figura 4.31: Poder tintóreo en función al tiempo de permanencia a Tmax (Marmita 1- Azúcar Incauca)

Fuente: Elaboración propia.

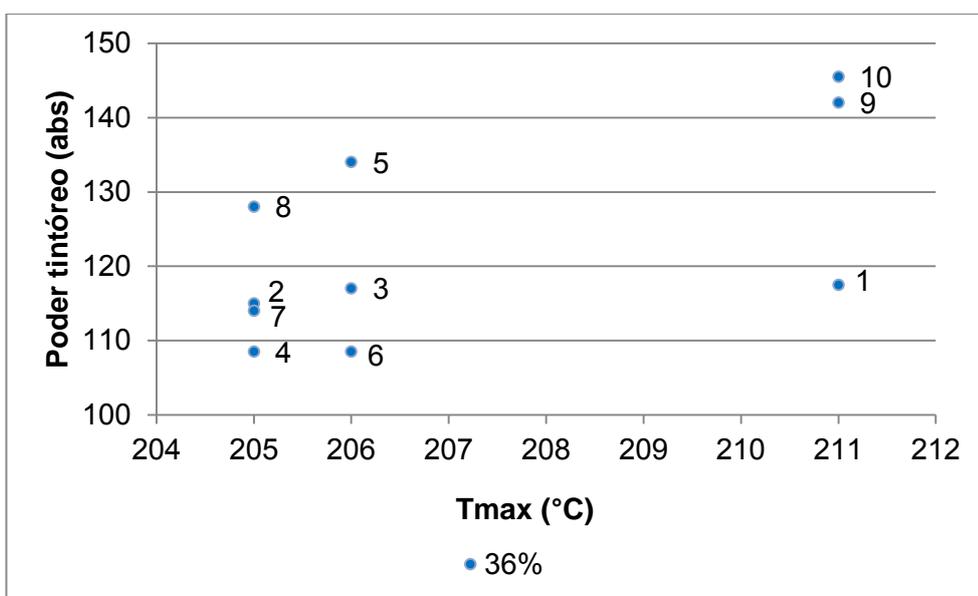


Figura 4.32: Poder tintóreo en función de la Tmax (Marmita 1- Azúcar Incauca)

Fuente: Elaboración propia.

### f) Ensayo F: Marmita 2- Azúcar Incauca

Como resultado de los ensayos tipo F se obtiene valores de poder tintóreo similares para un tiempo de permanencia similar, pero en algunos casos se obtiene un valor de poder tintóreo máximo, que se justifican por las altas temperaturas alcanzadas, que se muestran en la figura 4.33.

A mayor Tmax los resultados del poder tintóreo ascienden a valores altos, la figura 4.34 muestra una relación directa, a excepción del punto 9 que tiene un prolongado tiempo exposición y una alta temperatura, pero sin embargo un poder tintóreo bajo; debido a que la Tmax se encuentra cerca de la temperatura umbral, y a un tiempo de exposición largo produce la carbonización del colorante.

En cuanto a la compatibilidad se obtiene una mínima precipitación de sólidos y por lo tanto una buena compatibilidad en todas las muestras analizadas.

Por lo tanto en el ensayo de Marmita 2- Azúcar Incauca, analizado a una sola velocidad de calentamiento, la temperatura máxima tiene mayor influencia como se ha venido dando para todos los tipos de azúcar procesados en la Marmita 2.

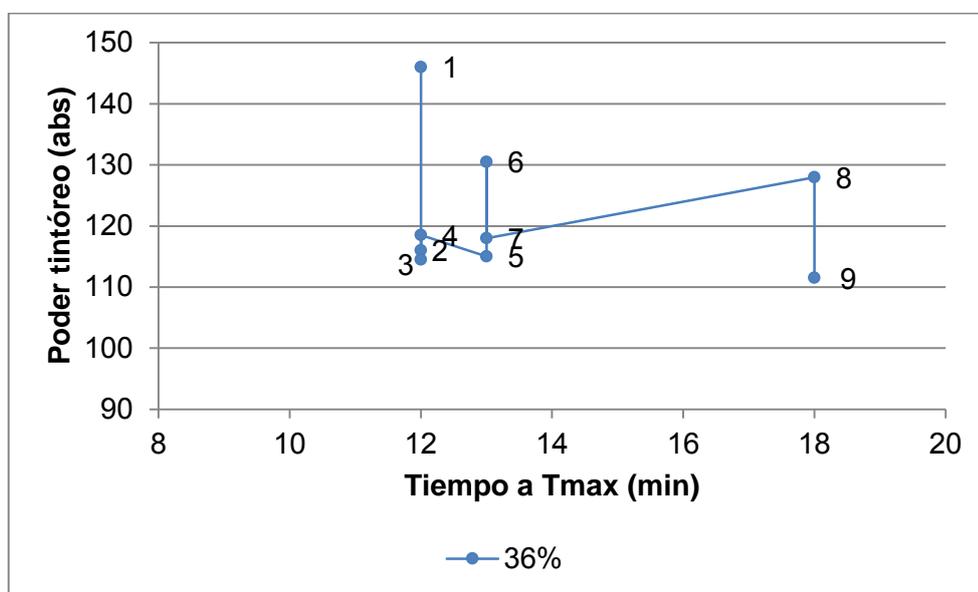


Figura 4.33: Poder tintóreo en función al tiempo de permanencia a Tmax (Marmita 2- Azúcar Incauca)

Fuente: Elaboración propia.

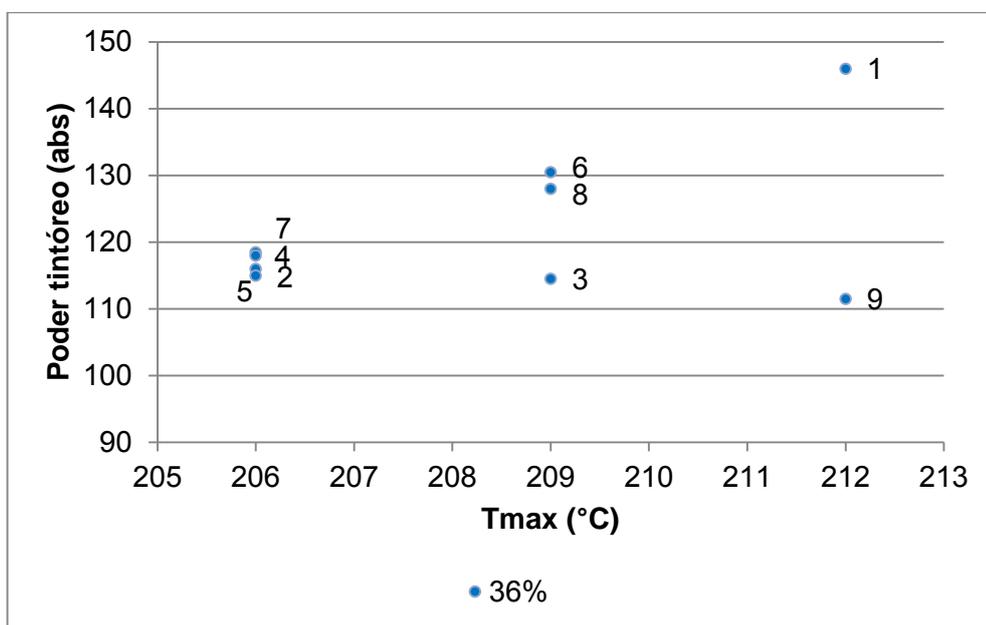


Figura 4.34: Poder tintóreo en función de la Tmax (Marmita 2- Azúcar Incauca)

Fuente: Elaboración propia.

De los ensayos, se tiene que a menor porcentaje de abertura de gas, es decir menor velocidad de calentamiento, se puede tener un mejor control en el sistema a través del tiempo de permanencia, ya que la Tmax aumenta lentamente. Lo que ocurre regularmente en la Marmita 1 debido a su menor flujo de entrada de gas. Obteniendo valores de poder tintóreo menores en relación a la otra marmita.

Pero a mayor velocidad de calentamiento se alcanza rápidamente altas Tmax, reduciendo los tiempos de permanencia a pequeños lapsos de tiempos. Este es comúnmente el caso de la Marmita 2, debido a su mayor flujo de entrada de gas teniendo como resultado altos valores de poder tintóreo. En algunos casos se obtienen bajos valores aún a altas Tmax y prolongados tiempos, debido a la carbonización del caramelo, por lo que trae un riesgo mantener el sistema a una alta velocidad de calentamiento. A menos que esta velocidad de calentamiento sea controlada estrictamente (ni muy lento, ni muy rápido).

#### 4.2.4. Resumen de caracterización

Se presentan las tablas de caracterización del colorante caramelo para cada tipo de materia prima y con especificaciones para cada marmita en algunas propiedades. Estas especificaciones vienen a ser parte de la ficha técnica del caramelo en el caso de una posible comercialización de dicho colorante. Para una mayor visión de la ficha técnica del caramelo KIKKO véase el Anexo F.

Cuadro 4.6: Caracterización del colorante proveniente del azúcar Cabaña.

<b>PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS</b>		
	Marmita 1	Marmita 2
Poder tintóreo	116 ± 7	120 ± 10
Matiz	6,07 ± 0,10	6,02 ± 0,11
PH	2,26 ± 0,04	2,23 ± 0,05
Compatibilidad (kg de sólidos /L de muestra)	0,004 ± 0,002	0,004 ± 0,003
Viscosidad Brookfield LVT #3 – 6 rpm , (cps)	600 – 800	
Gravedad específica(g/mL)	1,33 ± 0,01	
Punto Isoeléctrico	2,0 – 2,5	
Vida en Almacén (meses)	11,5 ± 3,3	
<b>PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS</b>		
Coliformes (UNC/g)	<10	
Aerobios (UNC/g)	<10	
Mohos (UNC/g)	<10	
Levaduras (UNC/g)	<10	
Salmonella (UNC/g)	Ausencia	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4.7: Caracterización del colorante proveniente del azúcar Risaralda:

<b>PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS</b>		
	Marmita 1	Marmita 2
Poder tintóreo	125 ± 14	130 ± 15
Matiz	6,10 ± 0,23	6,02 ± 0,25
PH	2,25 ± 0,08	2,22 ± 0,06
Compatibilidad (kg de sólidos /L de muestra)	0,004 ± 0,004	0,005 ± 0,005
Viscosidad Brookfield LVT #3 – 6 rpm , (cps)	600 – 900	
Gravedad específica(g/mL)	1,33 ± 0,01	
Punto Isoeléctrico	2,0 - 2,5	
Vida en Almacén (meses)	11,5 ± 3,3	
<b>PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS</b>		
Coliformes (UNC/g)	<10	
Aerobios (UNC/g)	<10	
Mohos (UNC/g)	<10	
Levaduras (UNC/g)	<10	
Salmonella (UNC/g)	Ausencia	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4.8: Caracterización del colorante proveniente del azúcar Incauca.

<b>PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS</b>		
	Marmita 1	Marmita 2
Poder tintóreo	127 ± 12	121 ± 11
Matiz	5,97 ± 0,15	5,98 ± 0,15
PH	2,28 ± 0,11	2,32 ± 0,11
Compatibilidad (kg de sólidos /L de muestra)	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,001
Gravedad específica(g/mL)	1,33 ± 0,01	
Punto Isoeléctrico	2,0 – 2,5	
Vida en Almacén (meses)	11,5 ± 3,3	
<b>PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS</b>		
Coliformes (UNC/gr)	<10	
Aerobios (UNC/gr)	<10	
Mohos (UNC/gr)	<10	
Levaduras (UNC/gr)	<10	
Salmonella (UNC/gr)	Ausencia	

Fuente: Elaboración propia.

\*El error fue hallado por el método de variación cuadrática media.

### 4.3. Guía de elaboración de colorante caramelo

Se realiza todo un estudio de tiempo y movimientos del proceso de elaboración de colorante caramelo que se describe de manera detallada en el Anexo G; a fin de guardar los derechos y los conocimientos técnicos de la empresa, solo se presenta el estudio elaborado para una de las marmitas.

#### Instructivos y Procedimientos

Esta guía o manual de instructivos y procedimientos tiene por objetivo proveer el lineamiento que los operarios deben seguir para asegurar un método de trabajo estándar en la elaboración de colorante caramelo Tipo I en base a sacarosa.

##### 4.3.1. Instructivo:

El objetivo del instructivo es definir los pasos para la manipulación de equipos de forma directa o a través de un tablero de control como es el caso:



Figura 4.35: Tablero de control del área de caramelizado  
Fuente: Fotografía tomada por la autora, diciembre del 2012.



Figura 4.36: Botones de extractores del área de caramelizado.

Fuente: Fotografía tomada por la autora, diciembre del 2012.

#### INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN:

##### **Instructivo para iniciar el flujo de aire para la combustión del gas:**

Accionar el botón verde que se encuentra en la posición 1 de la figura 4.36. Y para apagar se presiona el botón rojo que se encuentra en la misma posición.

##### **Instructivo para manipular el quemador 1:**

###### **Encender (perilla 6)**

Levantar la perilla que se encuentra en la posición 6 del tablero de control que se muestra en la figura 4.35 y dejar en esa posición.

**Graduar o Regular (interruptor 2 y perilla 1)**

Para aumentar la abertura: Encender el interruptor (posición ON) que se encuentra en la posición 2 del tablero de control (Figura 4.35), luego levantar la perilla (posición 1) y mantener unos segundos mientras aumenta la abertura, bajar la misma perilla y observar en el mismo quemador si se obtuvo la abertura deseada.

Para reducir la abertura: Apagar el interruptor (posición OFF) que se encuentra en la posición 2 del tablero de control (Figura 4.35), luego levantar la perilla (posición 1) y mantener unos segundos mientras se reduce la abertura, bajar la misma perilla y observar en el mismo quemador si se obtuvo la abertura deseada.

**Apagar (perilla 6)**

Bajar la perilla que se encuentra en la posición 6 del tablero de control que se muestra en la figura 4.35 y dejar en esa posición.

**Instructivo para manipular el quemador 2:****Encender (perilla 5)**

Levantar la perilla que se encuentra en la posición 5 del tablero de control que se muestra en la figura 4.35 y dejar en esa posición.

**Graduar o Regular (interruptor 4 y perilla 3)**

Para aumentar la abertura: Encender el interruptor que se encuentra en la posición 4 del tablero de control (Figura 4.35), luego levantar la perilla (posición 3) y mantener unos segundos mientras aumenta la abertura, bajar la misma perilla y observar en el mismo quemador si se obtuvo la abertura deseada.

Para reducir la abertura: Apagar el interruptor que se encuentra en la posición 4 del tablero de control (Figura 4.35), luego levantar la perilla (posición 3) y mantener unos segundos mientras se reduce la abertura, bajar la misma perilla y observar en el mismo quemador si se obtuvo la abertura deseada.

**Apagar (perilla 5)**

Bajar la perilla que se encuentra en la posición 5 del tablero de control que se muestra en la figura 4.35 y dejar en esa posición.

**Instructivo para encender los extractores de aire de cada marmita**

Para encender el extractor de la Marmita 1 accionar el botón verde que se encuentra en la posición 2 de la figura 4.36. Y para apagar accionar el botón rojo que se encuentra en la misma posición.

Para encender el extractor de la Marmita 2 accionar el botón verde que se encuentra en la posición 3 de la figura 4.36. Y para apagar accionar el botón rojo que se encuentra en la misma posición.

**4.3.2. Procedimiento:**

Se identifican tres etapas:

**a) Calentamiento o fusión de la materia prima**

- ✓ Trasladar 600 kg de azúcar desde el almacén al área de caramelizado.
- ✓ Se adiciona 300 kg de azúcar blanca refinada en cada marmita de 1000 L de capacidad.
- ✓ Se enciende el flujo de aire para la combustión de gas.
- ✓ Se abre la válvula manual de la tubería de gas.
- ✓ Se enciende el quemador y se regula a fuego alto, se dice fuego alto en comparación al fuego producido por una menor abertura que se hace al final del proceso.
- ✓ Una vez que el líquido sale a la superficie se introduce el palo de madera y se remueve el azúcar sólido con una frecuencia de 3 o 4 veces a lo largo de esta etapa.
- ✓ Una vez que emite humo se enciende el extractor de la marmita correspondiente.

**b) Caramelización (Pardeamiento):**

- ✓ A partir de la fusión total del azúcar sólido se produce un aumento acelerado de la espuma (acompañado de salpicaduras a una altura considerable por encima de la superficie líquida, llegando muchas veces al exterior de la marmita).
- ✓ Se adiciona un líquido tensoactivo para disminuir el nivel de espuma.
- ✓ El líquido pasa de color mostaza a un marrón cada vez más oscuro y la viscosidad aumenta hasta llegar a un estado muy espeso y de color negro (se recomienda que a partir de aquí se aplique una agitación manual con cierta frecuencia para difundir el calor de manera homogénea).
- ✓ A una temperatura por encima de 200°C (que se manifiesta en la fluidez visualizada por el operario) se baja el fuego y luego de unos minutos de homogenizado a través de la agitación manual, se apaga el fuego.
- ✓ Se agita unos minutos más hasta alcanzar la viscosidad característica y requerida.
- ✓ Se interrumpe el proceso con la adición de agua.

**c) Dilución:**

- ✓ Se vuelve a encender el quemador.
- ✓ Se espera a que se funda nuevamente el colorante solidificado
- ✓ Cuando la dilución se da en su mayoría y empieza a subir el nivel, se adiciona agua fría. Observando que el nivel y la temperatura descienden.
- ✓ Esta adición sirve para evitar crecimiento excesivo de espuma y a la vez para recuperar el sólido que aún sigue adherido a la pared interna de la marmita.
- ✓ Si el nivel de espuma tiende nuevamente a elevarse se contrarresta con la agitación manual, hasta conseguir que el nivel disminuya al mínimo.
- ✓ El proceso termina cuando se consigue una densidad adecuada y característica del caramelo.

- ✓ Se apaga el fuego y se deja reposar por 30 minutos
- ✓ Se extrae el caramelo al recipiente contenedor (con el método actual utilizando jarra y balde en tiempo de por lo menos 30 minutos o con la bomba sugerida en aproximadamente 5 minutos)

Las tres etapas se dan para cada una de las marmitas, a acepción del traslado de azúcar desde el almacén que se realiza para las dos marmitas a la vez, dando inicio de esta manera a todo el proceso de caramelizado casi en paralelo.

#### **4.3.3. Seguridad:**

- ✓ Hacer uso del equipo de protección personal siempre que se realice labores cerca de las marmitas para evitar quemaduras, sobre todo es indispensable en los siguientes momentos del proceso:
  - Al inicio de la fusión del azúcar en estado sólido se produce salpicaduras de pequeñas gotas de azúcar quemada líquida a la parte lateral inferior de la marmita y también a la parte exterior, alrededor muy cerca de la marmita. Esto sucede solo hasta que el operario lo agita por primera vez.
  - Al finalizar la fusión total del azúcar el nivel aumenta y se producen salpicaduras de caramelo líquido en grandes gotas que alcanzan hasta alrededores externos a la marmita.
  - Al agregar agua se produce una solidificación violenta con salpicaduras de caramelo sólidos en forma de hilos, que suelen llegar fácilmente a la parte externa de la marmita.
- ✓ Siempre mantener limpia y despejada la zona de trabajo para evitar deslices, caídas u otros accidentes que puedan resultar bastante perjudiciales para el operario, teniendo en cuenta el desnivel que existe en esta área y los momentos críticos por lo que pasa el proceso de caramelizado.
- ✓ Asegurarse siempre de cerrar la válvula manual de entrada de gas a los quemadores.

## **CAPÍTULO V**

# **ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO**

La finalidad del enfoque técnico económico es sustentar la inversión económica para maximizar los resultados del poder tintóreo del colorante con lo cual no se aumentará la producción, sino se disminuirá los costos, en consecuencia aumentará la productividad.

### **5.1. Estudio técnico**

Para la mejora del proceso de elaboración de colorante caramelo se realiza un estudio de tiempos y movimientos de dicho proceso, el cual se presenta de forma detallada en el anexo G. A partir de dicho estudio se presentan recomendaciones y sugerencias a mediano y largo plazo, tales como: una nueva localización del tablero de control; la modificación del número de gradas, una ampliación del área de trabajo, entre otros; todo esto con la finalidad mejorar el área de trabajo, eliminar movimientos innecesarios y disminuir los riesgos laborales, lo cual estaría a cargo del área de mantenimiento de la empresa y sería a largo plazo.

Pero como principal enfoque de dicho estudio se tiene la necesidad de implementar el proceso con la adquisición de los equipos e instrumentos siguientes:

- Bomba de succión
- Válvula de control automático
- Termocupla

De los cuales, la bomba de succión tiene como principal función reducir los tiempos muertos en el proceso, desde el punto de vista económico, fundamental para la empresa en la disminución de horas-hombre, además de otros beneficios debidamente sustentados en el anexo G.

La válvula de control automática, que modera la entrada del flujo másico de gas natural, es un instrumento indispensable para poder tener un control en la velocidad de calentamiento del caramelo, y de esta manera, poder realizar a futuro una optimización del proceso teniendo un absoluto control sobre todas las variables de perturbación.

La termocupla es un instrumento de medición necesaria para dar fin al proceso de caramelización y evitar así la carbonización del mismo, y de esta manera no depender solo de la apariencia viscosa de la mezcla, la cual varia

de lote a lote en base a los distintos compuestos formados a lo largo del proceso.

Cuadro 5.1: Descripción de los equipos necesarios

EQUIPO	DESCRIPCIÓN
Termocupla tipo J	Temperaturas de hasta 300°C
Válvula de control	Medidor y controlador de flujo másico de gas natural.  Presión de trabajo 0,2 mbar.  Flujo máximo de trabajo 5 m <sup>3</sup> /h.  T(aprox.)=15°C
Bomba para trasladar el caramelo	Tipo tornillo, engranaje o de succión en acero inoxidable.  Para líquido viscoso  Temperaturas de trabajo 100°C  Flujo 3,6 m <sup>3</sup> /h aproximadamente

Fuente: Elaboración propia.

#### A. Descripción técnica de equipos

En el cuadro 5.2 se detallan las características técnicas más sobresalientes de dos propuestas consideradas las más adecuadas por las prestaciones que ofrecen.

Cuadro 5.2: Comparación de características de uno de los equipos

CARACTERÍSTICA	EQUIPO 1	EQUIPO 2
Nombre	Bomba tornillo ORBIT	Bomba tipo NETZSCH
Precio (soles)	5400,00	13 675,20
Potencia (KW)	-	0,75
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	2,40	3,04
Temperatura (°c)	100	85-90
Presión (bar)	30	6,8
Viscosidad (cps)	Líquido con sólidos	1000-2000
Garantía	1 año	-

Fuente: Elaboración propia realizada en base a las consultas hechas a las empresas del rubro tales como: Precisión Perú S.A., Instrumentación Industrial, INTECH S.A. TecniFlow, entre otros.

### Ponderación de las características Técnicas de la bomba

**EQUIPO 1:** Bomba tornillo ORBIT

**EQUIPO 2:** Bomba tipo NETZSCH

Cuadro 5.3: Ponderación de la Bomba

FACTOR RELEVANTE	PESO ASIGNADO	EQUIPO 1		EQUIPO 2	
		*C	**CP	C	CP
Precio	0,4	4	1,6	2	0,8
Caudal	0,1	2	0,2	4	0,4
Temperatura	0,2	4	0,8	3	0,6
Viscosidad	0,3	5	1,5	4	1,2
Suma Total	1,0		<b>4,1</b>		3,0

Fuente: Elaboración propia realizada en base a la importancia del equipo en el proceso.

\*C : Calificación

\*\*CP : Calificación ponderada

Como resultado del anterior análisis económico se obtiene como mejor opción al equipo 1. De manera similar pero menos exhaustiva obtenemos una propuesta para la termocupla debido a la simplicidad del instrumento, y una propuesta para el válvula de control de gas natural, menos analítica también debido a la escasez de información.

## **B. Propuesta de equipos**

Según el estudio realizado los equipos que se detallan a continuación son los recomendados para la implementación práctica del proceso de elaboración de colorante caramelo.

### a) **Bomba tornillo orbit** (Bomba helicoidal –cavidad progresiva)

Bombas 2-en-1 de gran rentabilidad. El bombeo y la limpieza se procesan con sólo una bomba. Mantenimiento mínimo y gran disponibilidad. Apropiaada para la industria de comestibles, bebidas y licores.



Figura 5.1: Bomba tornillo

Fuente: Imagen representativa del equipo extraída de internet, 2012.

Cuadro 5.4: Descripción de la Bomba

CARACTERÍSTICAS	
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>	2,40
<b>Temperatura (°c)</b>	100
<b>Presión (bar)</b>	30
<b>Viscosidad (cps)</b>	Líquido con sólidos
<b>Garantía</b>	1 año

Fuente: Elaboración propia realizada en base a las consultas hechas a las empresas del rubro tales como: Precisión Perú S.A., Instrumentación Industrial, INTECH S.A. TecniFlow, entre otros.

#### b) Termocupla tipo J (S/ 250)

- Longitud 2m
- Bulbo recto 4"

Si se tiene un sistema de registro, se acopla la termocupla o en su defecto se debe adquirir también el display (S/. 600) que registra la temperatura.



Figura 5.2: Termocupla tipo J



Figura 5.3: Display

Fuente: Imágenes representativas de los equipos extraídas de internet, 2012.

**c) Válvula solenoide (S/ 3 500)**

Válvula encargada de controlar el flujo másico del gas natural ante cualquier variación de estado del fluido.

Cuadro 5.5: Descripción de la Válvula

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	
Diámetro normal( mm)	Dn10-dn1000
El electrodo de materiales	hc mo2ti hb pt ti ta
Material de revestimiento	Ptfe,Pfa( resistencia a la presión negativa), caucho de cloropreno, de poliuretano, duro de goma
Tipo de electrodo	Estándar tipo 316l, raspador- tipo(dn ge; 50)
Dieléctrico de conductividad	> 5 mu; s/cm
El grado de precisión	0,5% rs.
Capacidad de repetición	0,1%
Rango de flujo	0-10m/s
La medición de la temperatura	--20 a 140 °C
Presión de trabajo	0,2 mbar-4,0 mbar el proveedor especial de sobrepresión
De salida	4-20 ma de salida de corriente, 0-1khz de frecuencia de salida, de salida de pulso por unidad de volumen
De energía	85-265 v, 45-450 hz
Estándar	Q/smau2-2006
Convertidor de auxiliar	Bf 900c/f
Tipo de instalación	Split, integrado

Fuente: Descripción del equipo obtenido de una de las cotizaciones de las empresas del rubro tales como: Precisión Perú S.A., Instrumentación Industrial, INTECH S.A. TecniFlow, entre otros.



Figura 5.4: Válvula de control de flujo másico  
Fuente: Imagen representativa del equipo extraída de internet, 2012.

## 5.2. Análisis de costos de la implementación en el proceso

Para la implementación, mantenimiento y administración del sistema, no se necesitará la contratación de personal adicional, debido a que las personas que conforman el área de elaboración de color caramelo, solo deberán ser capacitadas por la empresa. Con esto se logra un porcentaje mejor de actividades y rendimiento del personal, sin involucrar un valor económico adicional al contratar nuevo personal.

### 5.2.1. Cuantificación de los beneficios

#### a) En Materia Prima

- **Estimación de costos de producción actual**

El azúcar es uno de los insumos utilizado en la empresa, destinado como materia prima en la elaboración del colorante caramelo y en otras partes del proceso en la planta. Se tiene la siguiente información de la distribución del azúcar, por lote de producto final elaborado (siyau):

Cuadro 5.6: Distribución del azúcar según su destino en planta

Destino	Azúcar Utilizada	
<b>Colorante</b>	300 Kg	65%
<b>Otros</b>	160 Kg	35%
<b>Total</b>	460 Kg	100%

Fuente: Elaboración propia realizada en base a los datos de la empresa.

Si se estima un consumo mensual promedio de 29 960 kg de azúcar. Por lo tanto el azúcar destinado a la preparación únicamente del colorante es 19 540 kg/mes.

El precio de cada saco de 50 kg de azúcar es S/. 118,00; entonces costo de azúcar es S/. 2,36 por cada kilogramo. Por lo tanto:

Costo mensual actual de Azúcar S/. 46 115,00

- **Estimación de costos de producción después de la propuesta**

Si se reduce el volumen de caramelo utilizado en cada lote de producto final en un 5% debido a un aumento en el poder tintóreo del caramelo, el volumen de azúcar utilizado para elaborar el colorante también disminuiría en 5%. Lo cual se puede lograr con un mejor control del proceso a través de una implementación de dos equipos básicos: una termocupla, una válvula de control del flujo másico de gas natural. (Las ventajas del uso de estos equipos se mencionan en las conclusiones)

Por lo tanto los costos de materia prima dirigida para la producción de dicho colorante sería:

– 5% de Variación de azúcar	977 kg
– Consumo de azúcar después de la propuesta	18 563 kg
– Costo mensual después de la propuesta	S/. 43 809,00

En el balance del costo de materia prima después de la propuesta se tiene un ahorro de S/. 2305,00 mensual, lo cual sería consecuencia de una inversión en nuevos equipos que darán un mejor control del proceso y por lo tanto de las variables que definen los resultados, pudiendo reducir el rango de

variación y con un posterior trabajo de investigación, una optimización de dichos resultados. En el presente trabajo se obtuvo lotes con alto poder tintóreo que redujeron el uso de colorante en un 5% pudiendo conseguir una buena compatibilidad. No pudiendo repetir el proceso debido a la falta de control sobre todas las variables.

#### **b) En el puesto de trabajo**

La adquisición de la bomba de succión trae facilidades en el puesto de trabajo, principalmente en la disminución de tiempos:

Cuadro 5.7: Reducción del tiempo estándar

<b>HORAS-HOMBRE</b>	<b>TIEMPO ESTANDAR</b>
Antes de la propuesta	332 min/lote
Después de la propuesta	290 min/lote
Variación del tiempo	42 min/lote
Ahorro mensual	1344 min/mes
	<b>22,4 horas-Hombre</b>

Fuente: Elaboración propia realizada en base al estudio de tiempos.

Si la operación de trasladar el caramelo manualmente lo realiza un operario, cuyo salario fuera el básico (S/. 750,00); entonces la empresa tendría un ahorro mensual de S/. 81,00.

Además de otros beneficios que son detallados en el estudio de tiempos y movimientos (ANEXO G). Los cuales son mencionados de manera puntual, en lo siguiente:

- Elimina una serie de movimientos repetitivos anti ergonómicos.
- Elimina riesgos de inhalación de vapores irritantes.
- Elimina riesgos de accidentes.

### c) En cuanto al área de trabajo

En dicho estudio de tiempos, se presentan recomendaciones que involucran gastos económicos menores, los cuales se mencionan de forma puntual en el cuadro 5.8, junto a los beneficios que traen como consecuencia a manera de comparación.

Cuadro 5.8: Gastos menores incurridos

Puntos de Gastos	Puntos de Ahorro
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación y mantenimiento de los nuevos equipos adquiridos</li> <li>• Capacitación sobre la manipulación de los nuevos equipos.</li> <li>• Ampliación del área de trabajo</li> <li>• Reubicación del tablero de control.</li> <li>• Modificación de número de gradas.</li> <li>• Energía eléctrica en el uso de la bomba.</li> <li>• Equipo de protección personal (lentes apropiados, mangas, mascarillas, entre otros).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejor uso de las horas-hombres.</li> <li>• La disminución de tiempo, por lo tanto un uso eficiente de la energía eléctrica y del gas natural.</li> <li>• Eliminación de peligros y riesgos de accidentes, con posibles demandas laborales por actos inseguros permitidos por la empresa.</li> <li>• Eliminación de fatiga por el exceso de movimientos.</li> <li>• Mayor aprovechamiento de horas-máquina.</li> <li>• Menor tiempo de producción, por lo tanto mayor cantidad de lotes.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia realizada en base al estudio de tiempos.

## 5.2.2. Costos de implementación del proyecto

A continuación se muestra los costos de inversión involucrados.

- **Costos de los equipos**

El cuadro 5.9 muestra los costos de los equipos que se necesitan para el área de caramelizado.

Cuadro 5.9: Costo de equipos sugeridos

CANTIDAD	EQUIPO	COSTO
02	Termocupla tipo J + su display	S/. 1700,00
02	Válvula de control	S/. 7000,00
01	Bomba para trasladar el caramelo	S/. 5400,00
	COSTO TOTAL DE EQUIPOS:	S/. 14100,00

Fuente: Elaboración propia realizada en base a las cotizaciones hechas a las empresas del rubro tales como: Precisión Perú S.A., Instrumentación Industrial, INTECH S.A. TecniFlow, entre otros.

- **Costos de instalación y capacitación**

- La instalación de la termocupla y el cableado hacia su tablero de registro, el cual se ubicaría en alguna de las paredes del área en la que se tenga una buena visibilidad.
- Instalación de la válvula de control másico del gas natural, en el tramo de tubería que conforma parte de la entrada al quemador. Y la capacitación del personal correspondiente con respecto al encendido y manipulación de cambios de flujo, ya que se trabaja con dos velocidades de calentamiento a lo largo del proceso.
- Capacitación sobre la ubicación de la bomba de succión para el traslado del colorante hacia el recipiente contenedor, así también sobre la manipulación del encendido y apagado del mismo. La bomba debe trasportarse sobre ruedas para ser reubicado y así evitar obstruir el paso en momentos que no se hace uso del mismo.

### **5.2.3. Viabilidad financiera del proyecto**

Cuando una empresa realiza una inversión de capital, lleva a cabo un desembolso de dinero en el presente, con miras a obtener utilidades en el futuro. Con el presente estudio se busca obtener mayores utilidades, a través de un ahorro económico al disminuir costos en materia prima.

Con el cambio de tecnología y al implementar los equipos que facilitan el trabajo del personal, se busca obtener un mejor control del proceso para conseguir resultados más precisos, maximizando de esta manera los resultados de poder tintóreo, que trae como consecuencia un menor volumen utilizado por cada lote, es decir menor cantidad de materia prima utilizada, además de los beneficios anteriormente mencionados.

El análisis de viabilidad financiera de este estudio, constituye una técnica matemática-financiera y analítica, a través de la cual se pretende justificar tanto en lo económico como en lo técnico la implementación del proceso en estudio.

Existen varios criterios para comprobar la rentabilidad económica de un proyecto.

Si se sabe que el dinero disminuye su valor real con el paso del tiempo, a una tasa aproximadamente igual al nivel de inflación vigente. Esto implica que el método de análisis empleado, debe tomar en cuenta el valor real del dinero a través del tiempo.

Para evaluar esta inversión se toman los siguientes criterios de evaluación:

- Valor presente neto (VAN)
- Tasa Interna de Retorno (TIR)
- Período de recuperación de capital

#### **A. Flujo de fondo**

La inversión inicial de un proyecto, o el primer período de vida de un proyecto se le conoce como período cero. Para este proyecto el periodo de tiempo en los que se van a dar los flujos es anual, y la inversión inicial se da en el Año 0.

Para la construcción del flujo de fondos se toma en cuenta los siguientes conceptos:

### **Ingresos**

Los ingresos son los fondos que percibe una empresa por venta de un bien o servicio.

En el presente caso no se percibe ningún ingreso adicional, sino más bien un ahorro anual representativo para la empresa, al controlar los parámetros que producen las perturbaciones en el proceso. Lo cual es una herramienta para mejorar los resultados y mantenerlos maximizados; brindándole a la vez, un ahorro considerable en tiempo.

### **Costos**

Los costos se clasifican en costos de inversión y costos de operación.

Los **costos de inversión** se generan por la capacidad de producir y se clasifican en:

- Activos fijos, que representan los desembolsos por adquisición de edificios, terrenos, equipos, etc.
- Activos nominales, que corresponden a la adquisición de activos no tangibles, pero necesarios para el funcionamiento de un proyecto, y son: licencias, patentes, asistencia técnica, capacitaciones, etc.
- Capital de trabajo, está representado por el capital adicional, con el que hay que contar para que empiece a funcionar la empresa, lo cual no se aplica en el presente caso, pues se trata de una implementación a un proceso ya iniciado.

Los **costos de operación** reflejan los desembolsos por concepto principalmente de la utilización periódica de recursos dentro del ciclo productivo del proyecto, estos egresos son: pago de mano de obra, insumos, gastos de mantenimiento, servicios públicos, etc.

## Depreciación

El costo de depreciación es la pérdida debida a la baja del valor de la máquina, causada por el uso y su antigüedad. Es la diferencia entre el valor de compra y el de reventa, el cual es determinado por las condiciones del mercado.

- **Cálculo del costo de inversión inicial**

Los costos de inversión inicial lo constituyen los costos de implementación del proyecto. A través del método de factores de costo, se halla el costo de la inversión total.

Cuadro 5.10 Costos de inversión inicial.

<b>COSTOS DE INVERSIÓN</b>	<b>PROPORCIÓN</b>	<b>COSTO(SOLES)</b>
Equipos	100%	14100,00
Instalaciones de los equipos	25%	3525,00
Instrumentación y control	15%	2115,00
Tuberías y accesorios	4%	564,00
Instalaciones eléctricas	2%	282,00
<b>COSTOS DIRECTOS</b>	<b>146%</b>	<b>20586,00</b>
Supervisión e ingeniería	8%	1128,00
Investigación y Desarrollo*		4500,00
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>		<b>5628,00</b>
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>26214,00</b>

Fuente: Elaboración propia realizada en base al estudio económico

\*Una vez instalados los equipos se debe realizar un monitoreo del proceso con la finalidad de hallar los valores que optimicen el proceso, usando el método de mantener constante n-1 variables, entonces ya controladas, mientras se varia un parámetro en estudio; y de esta manera abarcar más de tres valores que son los que se tomaron en el presente trabajo. Y solo con los cuales se obtuvo resultados máximos capaces de disminuir en un 5% el

consumo de materia prima, base sobre la cual se fundamenta el ahorro de materia prima en el presente balance económico. Se propone un monitoreo mínimo de 6 meses a cargo de un profesional cuyo salario básico es considerado S/. 750,00 mensuales para fines cuantitativos del presente estudio económico.

- **Cálculo de costos de operación**

Los factores que normalmente involucran los costos de operación, permanecen constantes en este caso:

- Operadores
- Análisis de laboratorio
- Gastos Administrativos
- Servicios públicos (gas natural, agua)

El desarrollo del proceso se mantiene o por el contrario, se reducen los tiempos muertos a lo largo del proceso, lo cual trae como consecuencia una reducción en el factor horas-hombre y representa un consumo más racional de gas natural.

Los costos de materia prima disminuyen considerablemente, si se tiene un control del proceso y una maximización del mismo; por lo cual este punto se trata como un beneficio al inicio del presente estudio económico.

Los únicos gastos operacionales serían:

Cuadro 5.11: Costos de operación

<b>COSTO OPERACIONAL</b>	<b>PROPORCIÓN</b>	<b>COSTO ANUAL (SOLES)</b>
SERVICIOS:		
Electricidad*		39,00
Mantenimiento	5% del costo de equipos	1311,00
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>1350,00</b>

Fuente: Elaboración propia realizada en base al consumo eléctrico de la empresa.

\*Dónde:

$$\text{Costo de electricidad} = P.U. * P.C. * T * L \quad (5.1)$$

P.U. : Precio unitario	=	0,342	S/./kwh
P.C. : Potencia de la bomba	=	0,75	kw
T : Tiempo por lote	=	10	min
L : Lote por año	=	768	batch/año

El costo total de electricidad es S/. 33,00 pero al agregar el IGV es S/. 39,00.

- **Cálculo de depreciación**

Se toma linealmente la depreciación (por el método directo de un activo fijo en un periodo dado) y corresponde a:

$$\text{Depreciación} = \frac{\text{Costo de Equipos}}{\text{Años de vida útil}} \quad (5.2)$$

Costo de equipos	=	S/. 14 100
Años de vida útil	=	5
Valor rescate	=	S/. 0

Cuadro 5.12 Depreciación anual (nuevos soles).

Año	Saldo en libros al inicio del año	Depreciación anual	Depreciación acumulada	Valor neto en libros
0				14 100
1	14 100	2 820	2 820	11 280
2	11 280	2 820	5 640	8 460
3	8 460	2 820	8 460	5 640
4	5 640	2 820	11 280	2 820
5	2 820	2 820	14 100	0

Fuente: Elaboración propia realizada en base al estudio económico.

- **Cálculo del flujo de fondos**

Los flujos de caja son prácticamente las ganancias anuales que se obtienen de la inversión inicial. Para su cálculo en este caso se debe realizar la siguiente operación:

$$\text{Flujo de caja} = \text{Ahorro o beneficio anual} - \text{Depreciación total} - \text{Costos de Operación} \quad (5.3)$$

$$\text{Flujo de caja anual} = 28638,00 - 2820,00 - 1350,00$$

$$\text{Flujo de caja anual} = 24469,00 \text{ soles anuales}$$

El cuadro 5.13 muestra el flujo de fondos del proceso que se producirán en unos 5 años referenciales de vida útil de los equipos y del sistema en general.

Cuadro 5.13 Flujo de fondos

<b>FLUJO DE CAJA</b>						
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>AÑO 0</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>
Costo de inversión inicial	26 214					
Costos de operación.		1 350	1 350	1 350	1 350	1 350
Depreciación total		2 820	2 820	2 820	2 820	2 820
Ahorro o beneficio anual		28 638	28 638	28 638	28 638	28 638
Flujo de caja (VF)	-26 214	24 469	24 469	24 469	24 469	24 469

Fuente: Elaboración propia realizada en base al estudio económico.

## B. Criterios de evaluación del proyecto

Una vez constituido el flujo de caja proyectado para el tiempo de vida útil, se aplica entonces los siguientes métodos de evaluación de factibilidad del proyecto.

### a) Valor Presente y Valor Actual Neto (VAN)

El valor actual neto (VAN), es la suma de los valores futuros presentes en el flujo de fondos, pero trasladados a valores presentes.

El valor presente es un factor que permite calcular el “Valor Presente” (VP) de un valor futuro (VF), después de un periodo de  $n$  años, a una tasa de interés  $i$ .

Para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$VP = VF \left( \frac{1}{(1+i)^n} \right) \quad (5.4)$$

Dónde:

VP : Valor presente

VF : Valor futuro a un año determinado

$i$  : tasa de interés

$n$  : número de años de estudio del proyecto

Para calcular el VAN se debe sumar los flujos descontados en el presente, tomando como referencia una tasa de descuento para un proyecto de inversión en el Perú, el cual tiene un aproximado a 15% y restar la inversión.

Si el valor calculado del VAN es mayor a cero, se acepta la propuesta.

$$VAN = -Costo\ Inicial + \sum_{t=0}^n F_t \left( \frac{1}{(1+i)^n} \right) \quad (5.5)$$

$$VAN = -Costo\ Inicial + \frac{VF}{(1+0,15)^1} + \frac{VF}{(1+0,15)^2} + \frac{VF}{(1+0,15)^3} + \frac{VF}{(1+0,15)^4} + \frac{VF}{(1+0,15)^5}$$

Del cuadro 5.13 se reemplaza los datos y se tiene:

$$VAN=55\ 809$$

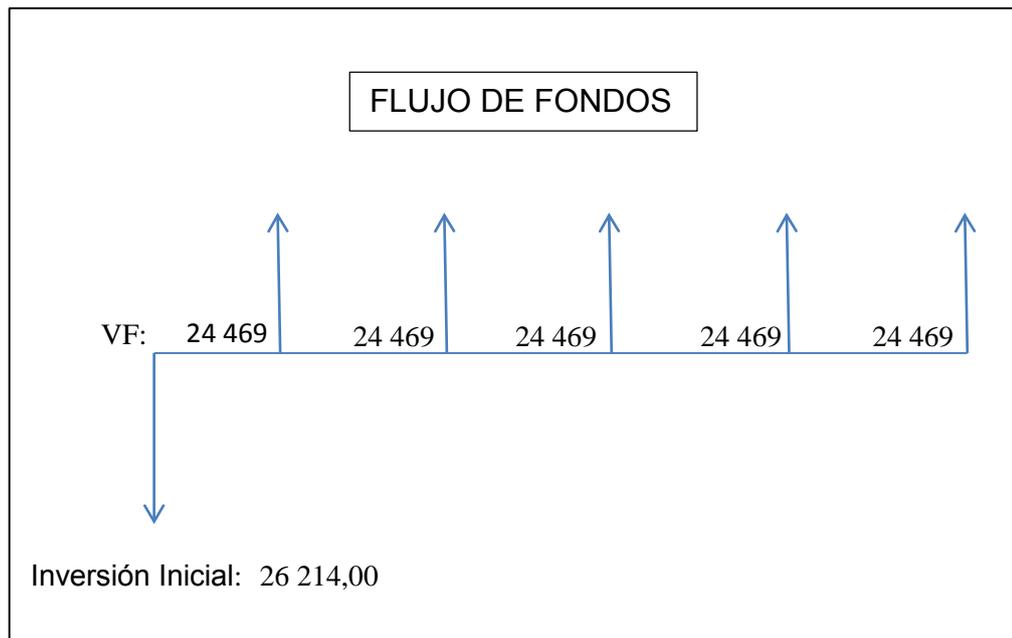


Figura 5.5 Flujo de fondos

Fuente: Elaboración propia realizada en base al estudio económico.

### b) La Tasa Interna de Retorno (TIR)

Llamada también tasa interna de rendimiento, es la tasa de descuento que hace que el valor actual de los flujos producidos en el tiempo, sean igual a los flujos de inversión; es decir, la tasa interna de retorno hace que se igualen los ingresos y los gastos en un determinado tiempo.

El criterio de aceptación consiste en comparar el valor calculado del TIR, con la tasa de rendimiento mínimo exigible para cualquier proyecto, que en este caso es 15%. Si el TIR es mayor a 15%, se acepta el proyecto.

Para el cálculo del TIR se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sum_{t=0}^n F_t \left( \frac{1}{(1+i)^n} \right) = 0 \quad (5.6)$$

Dónde:

i : Tasa de interés de retorno (TIR)  
 $F_t$  : Flujo neto de cada año (VF)  
 n : Número de años

$$-Costo\ Inicial + \sum_{t=0}^n F_t \left( \frac{1}{(1+i)^n} \right) = 0$$

De donde:

$$TIR=90\%$$

### c) Período de recuperación de la inversión

El período de recuperación de un proyecto de inversión, indica el número de años necesarios para recuperar la inversión inicial.

Se calcula dividiendo la inversión fija inicial, para los flujos de ingresos efectivos anuales para el período de recuperación.

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$PR = \frac{I_0}{B} \quad (5.7)$$

Donde PR : Período de recuperación  
 $I_0$  : Costo de inversión inicial  
 B : Beneficio

$$PR = \frac{26214}{24469} = 1,07 \text{ años}$$

Cuadro 5.14 Flujo de caja.

FLUJO DE CAJA						
DESCRIPCION	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Costo de inversión inicial	26 214					
Costos de operación.		1 350	1 350	1 350	1 015	1 350
Depreciación total		2 820	2 820	2 820	2 820	2 820
Ahorro o beneficio anual		28 638	28 638	28 638	28 638	28 638
Flujo de caja	-26 214	24 469	24 469	24 469	24 469	24 469
Valor Actual	-26 214	21 277	18 502	16 089	13 990	12 165
Valor Actual Acumulado	-26 214	-4 937	13 565	29 653	43 643	55 809

Fuente: Elaboración propia.

TIR 90%  
 Periodo de recuperación 1,07 años = 12,8 meses

#### 5.2.4. Análisis de los resultados obtenidos.

En el cuadro 5.14 se resume los resultados obtenidos en este capítulo. Se puede observar que el VAN es mayor a cero, el TIR es mayor a la tasa de interés utilizada para este proyecto y el período de recuperación de la inversión inicial es alrededor de un año. Estos resultados indican que el proyecto es económicamente viable, ventajoso y una inversión inteligente.

El presente balance económico es realizado con la visión de un ahorro en solo 5% en cuanto a materia prima, para esto solo se ha enfocado 3 valores como máximo para cada variable analizada debido a la gran dispersión que presenta los datos recopilados, pero una vez instalados los equipos, que facilitarán el control de los parámetros, servirá para mantener constantes a todas las variables mientras que se monitorea a una de ellas en un amplio rango de valores y lograr así optimizar el proceso.

## **CAPITULO VI**

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 6.1. Conclusiones

- 1) Las propiedades de la materia prima utilizada, no influye de forma decisiva en las propiedades finales del colorante, ya que se adquiere azúcar blanca refinada, la cual tiene sus propiedades estandarizadas ya definidas propias del tipo de azúcar; dejando al proceso de caramelización la determinación de las características finales del colorante caramelo.
- 2) A pesar de ajustar los parámetros a valores constantes de porcentaje de abertura, tiempo de permanencia y temperatura máxima, se obtiene resultados variados debido a que:
  - o El porcentaje de abertura fijo no garantiza que el flujo de gas sea constante debido a la distribución en paralelo de dicho flujo a lo largo de la planta, por lo cual, la apertura de otros equipos (que comparten el uso de gas en intervalos de tiempos fluctuantes e intermitentes) causan una variación de presión en el sistema del proceso de caramelización y por lo tanto una fluctuación en la entrada de flujo másico de gas.
  - o La temperatura máxima a la que se baja el fuego es controlable pero la temperatura que pueda alcanzar en el tiempo de permanencia con el calor remanente del horno provoca que pueda mantenerse constante o no, la temperatura máxima final.
- 3) El color es un parámetro dependiente muy importante en la caracterización final del caramelo y esto se debe a su mayor sensibilidad frente a las perturbaciones a lo largo del proceso. Es por ello que presenta variaciones de acuerdo al tipo de materia prima, tipo de marmita y demás parámetros estudiados en el proceso. Por otro lado ciertas propiedades como matiz, pH y gravedad específica, son relativamente constantes (varía mínimamente) e independientes del tipo de materia prima y de tipo de marmita.
- 4) De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que el poder tintóreo varía directamente proporcional a la temperatura máxima alcanzada y al tiempo de permanencia a temperatura máxima. Y la

compatibilidad varía inversamente proporcional a la temperatura máxima alcanzada y directamente proporcional al tiempo de permanencia a temperatura máxima.

- 5) La propiedad del color por sí solo no es un indicador de composición final del colorante, ya que a poder tintóreo constante los caramelos pueden presentar diferentes pH y por tanto diferente compatibilidad con el licor de siyau. Esto se debe a las distintas magnitudes de perturbación que ha recibido el sistema, obteniéndose diferente composición química del colorante, que al ser colocada frente al espectrofotómetro absorben la misma cantidad de luz, proporcionando el mismo resultado de color, llamado poder tintóreo. Pero esta propiedad propiamente dicha es la intensidad con la que colorea al licor de siyau, y ahí es donde interviene la compatibilidad (propiedad que depende de la composición química final, del pH y por lo tanto de la carga iónica del colorante), derivando una parte del colorante a colorear el licor de siyau y otra parte precipita por el fenómeno de atracción de cargas opuestas, estas partes se rigen en proporciones muy distintas en función a la composición química final y no al valor del color final.

En resumen los parámetros que intervienen en el proceso de caramelización son: la temperatura, el tiempo de permanencia a temperatura máxima y la velocidad de calentamiento. No es posible uniformizar con valores únicos más favorables de estos tres parámetros pues no se tiene control de la velocidad de calentamiento, en consecuencia solo se tiene un rango de valores de la temperatura y tiempos más usados.

## 6.2. Recomendaciones

- 1) Para tener un control sobre el flujo de calor que se le brinda a cada marmita, contrarrestando el hecho de que el segundo quemador tiene casi el doble de flujo que el primero y el hecho de las fluctuaciones de presión a lo largo del proceso, se recomienda implementar el sistema de quemadores con válvulas de control de flujo másico del gas, lo cual anularía la diferencia entre marmitas.
- 2) Para evitar la medir la temperatura con una termocupla independiente que trae como consecuencia un gasto de horas-hombre, frecuencia intermitente de medida y tiempo de estabilización de la termocupla (que se va haciendo mayor a medida que aumenta la viscosidad del caramelo); se recomienda acoplar una termocupla fija a cada olla, cuyos valores se registren en un tablero de control.
- 3) Aproximadamente a 185°C cesa el movimiento convectivo propio del caramelo, a partir de aquí, es donde la agitación manual del operario es fundamental para difundir el calor de manera homogénea y evitar el carbonizado del caramelo.

Ya que la agitación es fundamental en el proceso pues permite alcanzar temperaturas mayores, lo cual tiene una relación directa con el poder tintóreo, debería implementarse un agitador de manera independiente a las marmitas, pues en la etapa de fusión del azúcar en estado sólido el agitador no se utilizaría y podría ser retirada momentáneamente, además podría utilizarse un solo agitador para las dos marmitas ya que las etapas de caramelización no se dan exactamente en paralelo.

**BIBLIOGRAFIA:**

1. Bemiller, J. y Whistler, R. (2000). Carbohidratos. En: O. Fennema, *Química de los alimentos*. 2da ed (pp.189 - 221). Zaragoza, España: Editorial Acribia
2. Calderón H., P. A. y Cahahuaringa R., D. L. (2001). *Preparación de caramulina para uso de sazoadores*. Tesis de Pregrado para Ingeniero Químico. Lima-Perú. Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Química y Textil.
3. Calvo C. (1999). Uso de los colorantes en el campo de la alimentación. En: C. Calvo, *Alimentación, Equipos y Tecnología* Vol 3. (pp. 79 - 88).
4. Chappel, C. y Howell J. (1992). Caramel Colours – A Historical Introduction. *Food and Chemical Toxicolog*, 30. 351 - 357.
5. Contreras R. (2007). Colorimetría. En: *El origen del color en la naturaleza: Una introducción a la química del color* (pp. 117-120). Mérida, Venezuela. Publicaciones Vicerrectorado Académico – Universidad de los Andes de Mérida Venezuela
6. Corn Products Company (1964). *Procedimiento para preparar color caramelo para colorear productos alimenticios*. Patente de invención en España ES0300969.29 setiembre 1964.
7. Eyzaguirre, J. (1974). *Química de los Hidratos de Carbono*, 1ra ed. (pp.83- 90) Santiago, Chile. Editorial Andres Bello.
8. Fennema, O. y Tannebaum S. (2000) Introducción a la química de los alimentos. En: O. Fennema, *Química de los alimentos*. 2da ed. (pp.1-18) Zaragoza, España. Editorial Acribia
9. Fonseca, L. y Granados, G. (1985). *Elaboración de color Caramelo a altas Temperaturas de Procesamiento*. Boletín Técnico del Laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Subdirección General de Investigación y Desarrollo Vol.6. Managua, Nicaragua.
10. Joint FAO/OMS Expert Comitee of Food Additives (1987). Caramel colours. *Toxicological Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants*, 20, 99-163.

11. Licht, B., Shaw, C., Smith, C., Mendoza, M., Orr, J. y Myers, D. (1992a). Characterization of Caramel Colours I, II and III. *Food and Chemical Toxicology*, 30,375-382.
12. Licht, B., Shaw, C., Smith, C., Mendoza, M., Orr, J. y Myers, D. (1992b). Characterization of Caramel Colour IV. *Food and Chemical Toxicology*, 30,365-373.
13. Licht, B., Shaw, C., Smith, C., Mendoza, M., Orr, J. y Myers, D. (1992c). Development of Specifications for Caramel Colours. *Food and Chemical Toxicology*, 30,383-387.
14. Marcano D. (1990). Colorantes Alimentarios. En: D. Marcano, *Introducción a la Química de los alimentos* ( pp.153-177). Venezuela. Editorial Reverte Venezolana
15. Myers, D. y Howell J. (1992). Characterization and Specifications of Caramel Colours: an overview. *Food and Chemical Toxicology* 30, 359-363.
16. Oetterer, M. (1998). Oscurecimiento no enzimático, *Química de los Alimentos* (Curso de Postgrado). Universidad de Sao Paulo, Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Departamento de Ciencia y Tecnología Agroindustrial.
17. Ospina V., M. C. (2008). *Montaje de Curvas de Calibración para Análisis de Gomas, Fosfatos, Sílice, Azúcar y Sulfitos por Espectrofotometría UV - Visible en el Laboratorio de Aseguramiento de Calidad del Ingenio Pichichi S.A.* Tesis de Pregrado para Tecnólogo Químico. Pereira, Risaralda - Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira– Facultad de Tecnología Química.
18. Shankaranarayana, M., Abraham, K., Raghavan B. y Natarajan C. (1977). *Caramel Colour*. Central Food Technological Research Institute. Mysore-570 013, Karnataka, India.

**BIBLIOHEMEROGRAFIA:**

19. Aditivos Alimentarios EL BAHIENSE. “Aplicación de Colorante caramelo para productos panificados” – [En Línea], Buenos Aires, Argentina, disponible en:  
<[www.elbahiense.com/desc1.php?ii=18&&file=Aplicaci%F3n](http://www.elbahiense.com/desc1.php?ii=18&&file=Aplicaci%F3n)>  
[consultado: 15 junio 2012]
20. Aditivos Alimentarios EL BAHIENSE. “Aplicación de Colorante caramelo en salsas” – [En Línea], Buenos Aires, Argentina, disponible en:  
<[www.elbahiense.com/desc1.php?ii=71&&file=aplicacionSalsas...](http://www.elbahiense.com/desc1.php?ii=71&&file=aplicacionSalsas...)>  
[consultado: 26 julio 2012]
21. EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY – EFSA. “Scientific Opinion on the re-evaluation of caramel colours (E 150 a, b, c, d) as food additives” – [En Línea], EFSA JOURNAL 2011, Parma - Italia, disponible en:  
<<http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/2004.html>> [consultado: 21 abril 2012]
22. Facultad de Ciencias Químicas - Universidad Nacional de Córdoba. “Alimentos Azucarados ” – [En Línea], Capitulo X del Código Alimentario Argentino, Argentina, disponible en:  
<[http://www.fcq.unc.edu.ar/institucional/pdf/CAPITULO\\_X\\_Azucarados.pdf](http://www.fcq.unc.edu.ar/institucional/pdf/CAPITULO_X_Azucarados.pdf)> [consultado: 14 abril 2012]
23. Garcia R. “Aditivos Alimentarios” - [En Línea] Dpto. Bromatología y Tecnología de Alimentos - Universidad de Córdoba, España, disponible en:  
<<http://www.uco.es/organiza/departamentos/bromatologia/nutybro/higiene-alimentaria/documentos/conferenciaaditivos.pdf>> [consultado: 15 junio 2012]
24. Ingenio Magdalena S.A. “Proceso de Elaboración de Azúcar Blanca Refinada” – [En Línea], Guatemala, disponible en:  
<<http://iasmag.imsa.com.gt/inow/web/guest/nosotros>> [consultado: 09 setiembre 2012]

25. Instituto de Estudios Salud Natural de Chile - IESN (2001). "Aditivos Alimentarios" – [En Línea], Consciencia Eco Natural: Una estrategia de salud para toda la vida, Chile, disponible en:  
<<http://www.oocities.org/iesnchile/aditivos.html>> [consultado: 18 enero 2013]
26. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives - JECFA. (2011). FAO JECFA Monographs 11: Specification for Caramel Colours 2011– [En Línea], COMBINED COMPENDIUM OF FOOD ADDITIVE ESPECIFICACIONES Vol. 4, disponible en:  
< <http://www.fao.org/ag/agn/jecfa-additives/details.html?id=800> >  
[consultado: 21 abril 2012]
27. Ponce E. (2005). "Carbohidratos" - [En Línea], disponible en:  
<<http://docencia.izt.uam.mx/epa/archivos/quimalim/Carbohidratos.pdf>>  
[consultado: 20 agosto 2012]
28. Quesada F. (2012). "Coca Cola y Pepsi cambian sus fórmulas ante sospecha de agente cancerígeno"- [En Línea], *El Comercio.pe*, 9 de marzo, 2012. disponible en:  
<<http://elcomercio.pe/tecnologia/1384877/noticia-coca-cola-pepsi-cambian-sus-formulas-ante-sospecha-agente-cancerigeno>> [consultado: 17 junio 2012]
29. Sceni P., Balian, M. y Rembado M. (2008). "Aplicaciones de Maillard en productos panificados" - [En Línea], Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de Quilmes, 12 julio 2008. disponible en:  
<[http://www.grupogda.org.ar/documentos/mayo\\_2010/Presentacion\\_reaccion\\_de\\_maillard.pdf](http://www.grupogda.org.ar/documentos/mayo_2010/Presentacion_reaccion_de_maillard.pdf)> [consultado: 09 setiembre 2012]
30. Schrei J. (2006). "Tonalidad y éxito" – [En Línea], INDUSTRIA ALIMENTARIA – Para los procesadores de Alimentos Latinoamericanos - 01 octubre 2006, disponible en:  
<<http://www.industriaalimenticia.com/articulos/tonalidad-de-exito>>  
[consultado: 15 marzo 2012]

# **ANEXOS**

## **ANEXO A: PROCESO DE ELABORACION DE AZÚCAR BLANCA REFINADA [24]**

El proceso industrial para la fabricación de azúcar implica la aplicación de varios procesos para convertir el jugo de caña en cristales y depurarlos de manera natural de impurezas que pudieran resultar dañinas para el organismo.

El proceso de fabricación consta de los siguientes subprocesos:

- a. Entrada
- b. Molienda
- c. Clarificación
- d. Evaporación
- e. Cristalización
- f. Separación
- g. Refinado
- h. Secado
- i. Envasado

### **a. Entrada**

Inicia con el peso en básculas de las unidades que transportan la caña de azúcar y que se encuentran al ingreso del área industrial. En esta parte se determina la calidad de la materia prima, tomando muestras que deben ser analizadas continuamente en el laboratorio de control de calidad de la empresa que la elabora.

La caña que llega a la fábrica se descarga sobre las mesas de alimentación por medio de viradores de caña con capacidad de 50 TM. En las mesas de caña se aplica agua entre 110 y 120 °F para lavado, eliminando así sólidos o materia extraña como la tierra, sales, minerales, piedras y otros que se adhieren a ella en el campo durante el alce a las jaulas que la transportan hacia la fábrica.

Luego la caña se somete a un proceso de preparación que consiste en romper y desfibrar las celdas de los tallos por medio de tronzadoras,

picadoras oscilantes y desfibradoras, para poder pasar al proceso de extracción del jugo.

### **b. Molienda**

Este es un proceso continuo se utiliza tres tándemes de molinos con capacidad de molienda diaria total de 32,200 TM, distribuido en tándem "A" (9,000 TM); tándem "B" (11,040 TM) y tándem "C" (11,960 TM).

Hacia estos tándems se alimenta con caña preparada, la cual es sometida a una serie de extracciones utilizando molinos de rodillo o mazas y todos los molinos son de cuatro masas rayados en forma de "V". Para hacer más eficiente el proceso de molienda, los jugos pobres de los molinos posteriores se aplican nuevamente en el proceso (proceso de maceración) y en el último molino se aplica agua caliente con temperatura entre 155 -179 °F para aumentar la extracción.

El bagazo es un subproducto industrial que se transporta hacia el sistema de calderas para usarlo en calidad de biomasa como combustible. El sobrante tiene como destino la hidrolización y reserva para cubrir paros de emergencia.

### **c. Clarificación**

El jugo proveniente de los molinos pasa por calentadores, que llegan a temperaturas entre 140 y 155 °F. Luego pasa por la torre de sulfatación, bajando el pH para producir azúcar blanco únicamente.

En esta etapa se utiliza azufre como agente decolorante; luego mediante la adición de la bachada de cal entre 6 y 10 baumé se neutraliza el jugo. El calentamiento del jugo se realiza en tres etapas; la primera por vapor vegetal de 5,0 psi alcanzando temperaturas entre 175 y 185 °F; la segunda por vapor de 5,0 psi alcanzando temperaturas entre 205 y 215 °F y la última con vapor de 10 psi para rectificación del jugo en forma automática.

Con el proceso anterior se logra que el jugo, al ser liberado a presión atmosférica, sufra una pequeña evaporación en el tanque flash evitando que los flóculos floten o decanten con lentitud por la presencia de burbujas atrapadas en el interior.

El siguiente paso es alimentar el jugo a los clarificadores a baja velocidad para permitir la concentración de lodos y que pueden ser extraídos por

gravedad en un clarificador SRI y con bombas en los Rapi Door 444. En la etapa final de este proceso se utilizan coladores vibratorios con malla 110 mesh para la eliminación de bagacillo y evitar que llegue al producto final.

Los filtros de cabeza son parte indispensable del proceso, pues sin ellos, la pérdida de sacarosa en la cachaza sería significativa.

#### **d. Evaporación**

La operación del sistema de evaporación en la planta es de quintuple efecto, tanto para la línea de blanco como para la línea de crudo. La operación es relativamente sencilla debido a que se fijan las condiciones de entrada, salida, nivel de cada evaporador y extracción de vapores vegetales hacia el exterior.

La evaporación se realiza en evaporadores tipo Roberts en los cuales el vapor y el jugo se encuentran en cámaras separadas que fluyen en el mismo sentido.

El jugo pasa de un evaporador a otro con bombas denominadas “de transferencia”. El control global de un evaporador se ejecuta a través de la estabilización de cinco factores muy importantes:

- La concentración del producto final
- La presión absoluta en el último cuerpo
- La alimentación de vapor y jugo al primer evaporador
- Remoción de condensados y gases no condensables
- El control de incrustación en cada evaporador

#### **e. Cristalización**

La cristalización o crecimiento de la sacarosa que contiene el jarabe se lleva a cabo en tachos al vacío. Estos cocimientos, según su pureza van a producir azúcar crudo y azúcar blanco. Este es un proceso lento que industrialmente se acelera introduciendo al tacho unos granos microscópicos de azúcar, denominados semillas. La experiencia del operativo debe juzgar el punto exacto del cocimiento, para la obtención de un buen producto.

#### **f. Separación**

Los cristales del azúcar se separan de la miel restante en la centrífugas, equipos cilíndricos que giran a gran velocidad. La miel pasa a través de las

telas, los cristales quedan atrapados dentro de las centrifugas y luego se lavan con agua. Las mieles vuelven a los tachos o bien se utilizan como materia prima para la producción de alcohol en las destilerías. El azúcar pasa al proceso de secado y enfriado.

#### **g. Refinación**

En el caso de la producción de azúcar blanca refinada, existe un proceso adicional, que utiliza como materia prima azúcar blanco estándar o azúcar crudo.

En este proceso se disuelve el azúcar a 60 grados Brix, luego se le adiciona carbón activado y tierra diatomácea. Esta solución se hace pasar por primera y segunda filtración en filtros verticales, hasta obtener un licor claro. El licor es vaporado y empieza la cristalización de los granos.

#### **h. Secado**

En el proceso de centrifugado se utiliza agua de condensado para lavar el azúcar, lo cual da como resultado humedades entre 0,3 % y 0,6%; por lo que es necesario pasarla por un proceso de secado para alcanzar niveles entre 0,2% para azúcar crudo y 0,03% para azúcares blancos.

#### **i. Envasado**

El azúcar crudo de exportación sale directamente de la secadora a las bodegas de almacenamiento. En las bodegas se carga a granel en camiones que la transportan al puerto de embarque.

El azúcar blanco estándar y refinada se empaca en sacos de 50 y 46 kg y jumbos de 1400 kg para ser comercializado local e internacionalmente.

## **ANEXO B: DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE SULFITOS EN AZÚCAR**

### **EQUIPOS Y MATERIALES**

#### **EQUIPOS**

- Espectrofotómetro GENESIS 20
- Balanza analítica
- Agitador magnético con calentador

#### **MATERIALES**

- Tubo porta muestra de 10 cm de longitud
- Matraces volumétricos de 100 mL
- Vasos de precipitado de 100 mL
- Tubos de ensayo
- Gradilla porta tubos
- Papel tisú

### **REACTIVOS UTILIZADOS PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN SULFITOS**

#### **REACTIVOS:**

- Hidrocloruro de rosanilina
- Ácido clorhídrico
- Formaldehído
- Sacarosa
- Hidróxido de sodio
- Almidón
- Tiosulfato de sodio
- Sulfito de sodio

**SOLUCIONES:****a) Solución saturada de hidrocloreuro de rosanilina:**

Disuélvase 1,0 g de hidrocloreuro de rosanilina en 100 mL de agua destilada, calentar a 50 °C y dejar enfriar con agitación. Después dejar reposar por 48 horas y filtrar la solución.

**b) Solución coloreadora de rosanilina:**

Transferir 4 mL de solución saturada de hidrocloreuro de rosanilina a un frasco volumétrico de 100 mL, adicionar 6 mL de ácido clorhídrico concentrado y lleve la mezcla hasta la marca con agua destilada.

**c) Solución de formaldehído:**

En un matraz volumétrico de 1000 mL diluir 5 mL de formaldehído en 200 mL de agua destilada y después completar el volumen.

**d) Solución de sacarosa pura:**

Disolver 100 g de sacarosa grado analítico en agua destilada y llevarlo a 1000 mL.

**e) Solución de hidróxido de sodio 0,1 mol/L****f) Solución de ácido clorhídrico concentrado****g) Indicador de yodo (almidón)****h) Solución tiosulfato de sodio 0,1 mol/L:**

Disolver 24,817 g de reactivo de tiosulfato de sodio pentahidratado en 200 mL de agua destilada en un matraz volumétrico de 1000 mL y después completar el volumen.

**PROCEDIMIENTO****A. Solución estándar de sulfito:**

Disolver aproximadamente 2,5 g de reactivo de sulfito de sodio heptahidratado en solución de sacarosa y lleve a 500 mL con esta solución pura de sacarosa.

**B. Valoración de la solución estándar de sulfito:**

Adicionar 25 mL de solución de yodo 0,05 mol /L en un erlenmeyer de 250 mL, luego adicionar 10 mL de la solución de ácido clorhídrico 1 mol/L y agregar aproximadamente 100 mL de agua destilada. Medir con una pipeta 25 mL de solución estándar de sulfito en este frasco mientras que dicho frasco es agitado. Entonces titular el exceso de yodo con la solución de tiosulfato de sodio 0,1 mol/L hasta que el color de la solución del frasco sea pálido. Después agregar 1 mL de indicador de yodo (almidón) y continuar la titulación hasta que se desaparezca el color azul. Registrar la titulación.

**C. Solución estándar diluida de sulfito:**

Diluir 5 mL de solución estándar de sulfito a 100 mL exactamente con solución pura de sacarosa.

**D. Blanco:**

Como blanco se utiliza únicamente agua destilada

**E. Patrones para la curva de calibración:**

Hacer uso los mililitros necesarios de la solución estándar diluida de sulfito (A) para preparar cada uno de los patrones de acuerdo al cuadro B.1, llevar cada uno de los patrones a un matraz volumétrico de 100 mL, adicionar 4,0 mL de solución de hidróxido de sodio 0,1 mol/L a cada uno de los frascos volumétricos y llevar hasta la marca con la solución pura de sacarosa y mezclar.

Transferir 10 mL de solución de cada uno de los matraces volumétricos a los tubos de ensayo limpios y secos, agregar 2,0 mL de solución decoloradora de rosanilina y 2,0 mL de solución de formaldehído, tapar los tubos y mezclar, dejarlos en reposo a temperatura ambiente durante 30 minutos y después leer fotométricamente utilizando como blanco agua destilada para leer a una longitud de onda de 560 nm.

Cuadro B.1: Volúmenes de solución patrón necesarios para preparar los patrones para la curva de calibración de sulfitos en azúcar.

Patrón	Concentración [ppm]	Volumen de solución estándar [mL]
1	2,48	1,0
2	4,96	2,0
3	7,44	3,0
4	9,92	4,0
5	12,4	5,0
6	14,88	6,0

Fuente: Elaboración propia realizada en base al procedimiento establecido por ICUMSA.

## RESULTADOS

### Datos obtenidos para la curva de calibración de sulfitos en azúcar

Absorbancia de la sacarosa pura=0,007

Cuadro B.2: Datos obtenidos de absorbancia para la curva de concentración de sulfitos en azúcar

CONCENTRACION	ABSORBANCIA	SULFITOS (ug SO <sub>2</sub> )
0%	0,007	0
1%	0,187	3,203
2%	0,484	6,406
3%	0,741	9,609
4%	0,927	12,812
5%	1,365	16,015
6%	1,507	19,218

Fuente: Elaboración propia.

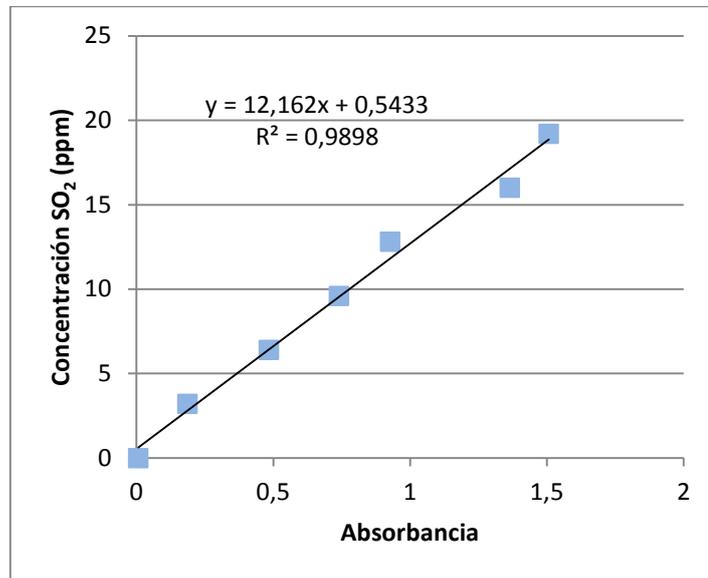


Figura B.1: Curva de calibración de contenido de sulfitos en azúcar

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el contenido de SO<sub>2</sub> en una muestra, se obtiene directamente la concentración de la curva de calibración si no fue necesaria ninguna dilución. Si fue necesaria alguna dilución de la muestra para poder utilizar la curva, entonces la concentración de SO<sub>2</sub> en la muestra original es:

$$\frac{mg\ SO_2}{L} = \frac{(ppm\ de\ SO_2\ directamente\ de\ la\ curva) * Vol.Final}{ml\ de\ muestra} \quad (B.1)$$

## ANEXO C: CUADROS DE RESULTADOS DETALLADOS OBTENIDOS DE

### ÁNALISIS A LA MATERIA PRIMA

MATERIA PRIMA: AZÚCAR BLANCA REFINADA

#### a) Resultados del índice de color del azúcar

Cuadro C.1: Datos obtenidos del índice de color del azúcar

AZÚCAR		COLOR
Cabaña	Muestra 1	0,028
Risaralda	Muestra 1	0,021
	Muestra 2	0,030
	Muestra 3	0,027
	Muestra 4	0,017
	Muestra 5	0,018
	Muestra 6	0,017
	Muestra 7	0,017
Incauca	Muestra 1	0,022
	Muestra 2	0,022

Fuente: Elaboración propia.

### b) Resultados de la determinación de contenido de sulfitos

Cuadro C.2: Datos obtenidos de absorbancia del blanco y la muestra, y concentración de sulfitos en azúcar

AZÚCAR		ABSORBANCIA BLANCO	ABSORBANCIA MUESTRA	SULFITOS (mg SO <sub>2</sub> /kg de azúcar)
Cabaña	Muestra 1	0,023	0,033	0,3323
Risaralda	Muestra 1	0,023	0,030	0,3141
	Muestra 2	0,023	0,027	0,2958
	Muestra 3	0,026	0,030	0,2958
	Muestra 4	0,021	0,028	0,3141
	Muestra 5	0,022	0,034	0,3445
	Muestra 6	0,013	0,021	0,3201
	Muestra 7	0,016	0,021	0,3019
	Muestra 8	0,024	0,030	0,3080
	Muestra 9	0,026	0,039	0,3505
Incauca	Muestra 1	0,024	0,029	0,3019
	Muestra 2	0,019	0,029	0,3323

Fuente: Elaboración propia.

### c) Resultados del porcentaje de sacarosa

Cuadro C.3: Datos obtenidos de la rotación óptica y los grados Brix del azúcar Cabaña

EQUIPO:	POLARÍMETRO			REFRACTÓMETRO PORTATIL	
	Rotación Óptica	% Azúcar	% Sacarosa	°Brix	% Sacarosa
Concentración 10%	6,0	90,23	9,02	8,0	89%
14%	8,8	94,52	13,23	11,6	88%
18%	11,7	97,74	17,59	16,6	94%
22%	14,3	97,74	21,50	19,6	91%
26%	17,0	98,32	25,56	22,6	88%

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro C.4: Datos obtenidos de la rotación óptica y los grados Brix del azúcar  
Risaralda

EQUIPO:	POLARÍMETRO			REFRACTÓMETRO PORTATIL	
Concentración	Rotación Óptica	% Azúcar	% Sacarosa	°Brix	% Sacarosa
10%	6,45	96,99	9,70	8,0	82%
14%	8,95	96,13	13,46	11,5	85%
18%	11,60	96,91	17,44	16,5	95%
22%	14,10	96,38	21,20	19,7	93%
26%	16,75	96,88	25,19	22,6	90%

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro C.5: Datos obtenidos de la rotación óptica del azúcar Incauca

EQUIPO:	POLARÍMETRO		
Concentración	Rotación Óptica	% Azúcar	% Sacarosa
10%	6,50	97,74	9,77
14%	8,90	95,60	13,38
18%	11,80	98,58	17,74
22%	14,20	97,06	21,35
26%	16,80	97,17	25,26

Fuente: Elaboración propia.

**d) Resultados de la humedad en el azúcar**

Cuadro C.6: Datos obtenidos de la humedad de las muestras de azúcar

AZÚCAR		HUMEDAD (%)
CABAÑA	Muestra 1	0,04
RISARALDA	Muestra 1	0,08
	Muestra 2	0,08
	Muestra 8	0,10
INCAUCA	Muestra 1	0,12

Fuente: Elaboración propia.

**e) Resultados del PH del azúcar**

Cuadro C.7: Datos obtenidos del PH de las muestras de azúcar

AZÚCAR		PH
RISARALDA	Muestra 1	6,75
	Muestra 2	6,37
	Muestra 3	7,15
	Muestra 4	6,98
	Muestra 5	5,38
	Muestra 6	6,34
INCAUCA	Muestra 1	6,82
	Muestra 2	6,06

Fuente: Elaboración propia.

**ANEXO D: OBSERVACIONES DEL ANÁLISIS CUALITATIVO EN LA FORMACIÓN DE PRECIPITADO COMO INDICADOR DEL PUNTO ISOELÉCTRICO.**

Cuadro D.1: Observaciones de precipitados en la prueba para hallar en punto isoeléctrico.

NÚMERO DE PRUEBA	PH	OBSERVACIONES
1	3,0	Ausencia de precipitado
	2,0	Presencia de precipitado blanco
	1,5	Ausencia de precipitado
2	3,0	Ausencia de precipitado
	2,0	Ausencia de precipitado
	1,5	Ausencia de precipitado
3	3,0	Presencia de precipitado
	2,0	Presencia de precipitado
	1,5	Solo un poco turbio
4	3,0	Ausencia de precipitado
	2,0	Ausencia de precipitado
	1,5	Ausencia de precipitado
5	3,0	Presencia de precipitado
	2,0	Escasa presencia de precipitado
	1,5	Ausencia de precipitado
6	3,0	Presencia de precipitado
	2,0	Presencia de precipitado
	1,5	Ausencia de precipitado
7	3,0	Presencia de precipitado
	2,0	Ausencia de precipitado
	1,5	Ausencia de precipitado
8	2,5	Ausencia de precipitado
	2,0	Ausencia de precipitado
	1,5	Ausencia de precipitado

9	3,0	Presencia de precipitado marrón
	2,0	Ausencia de precipitado
	1,5	Ausencia de precipitado
10	3,0	Presencia de precipitado
	2,0	Presencia de precipitado
	1,5	Ausencia de precipitado
11	3,0	Presencia de precipitado gelatinoso con bolitas
	2,0	Una pequeña turbidez en el fondo
	1,5	Ausencia de precipitado
12	3,0	Presencia de precipitado
	2,0	Ausencia de precipitado
	1,5	Ausencia de precipitado
13	3,0	Ausencia de precipitado
	2,0	Ausencia de precipitado
	1,5	Ausencia de precipitado
14	3,0	Presencia de precipitado
	2,0	Ausencia de precipitado
	1,5	Ausencia de precipitado
15	3,0	Presencia de precipitado
	2,0	Ausencia de precipitado
	1,5	Turbio
16	3,0	Presencia de precipitado
	2,0	Un poco de turbidez
	1,5	Ausencia de precipitado
17	2,5	Tiras en la parte inferior del tubo
	2,0	Un punto color ámbar claro
	1,5	Un punto color ámbar claro
	1,0	Un punto color ámbar claro
18	2,5	Abundantes hilos gruesos de gelatina
	2,0	Varios hilos gruesos de gelatina
	1,5	Partículas de impurezas y escasos hilos de gelatina

	1,0	Ausencia de precipitado
19	3,0	Presencia de precipitado
	2,0	Presencia de precipitado
	1,5	Presencia escasa de precipitado
20	3,0	Presencia de precipitado
	2,0	Ausencia de precipitado
	1,5	Ausencia de precipitado
21	2,5	Ausencia de precipitado
	2,0	Presencia de precipitado
	1,5	Presencia de precipitado
	1,0	Ausencia de precipitado
22	5,0	Precipitado blanco soluble
	4,0	Precipitado blanco soluble
	3,0	Precipitado blanco soluble
	2,0	Ausencia de precipitado
	1,0	Ausencia de precipitado

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO E: DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CONSUMO DE GAS EN EL PROCESO DE CAMELIZADO

Se realizaron pruebas para determinar el consumo de gas a lo largo del proceso de elaboración de colorante caramelo, a través de las lecturas del medidor de flujo de gas. Cada prueba se hizo por separado a cada una de las marmitas y con uso exclusivo del gas dirigido solo para el funcionamiento de cada una a la vez, obteniéndose la velocidad de alimentación de gas para los dos quemadores del sistema, diferenciándose así el flujo de gas para cada etapa del proceso de caramelizado y para cada marmita.

Cuadro E.1: Datos obtenidos en el monitoreo del consumo de gas natural para la elaboración de colorante caramelo en la Marmita 1

Tiempo (min)	Temp. (°C)	% de Abertura	Observaciones	Lectura del medidor (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> /h
0	22	36	300 Kg de azúcar	118902,54	
80	155	36	Fusión completa	118906,41	2,90
94	166	36	Caramelizado		
105	172	36			
115	179	36			
122	184	36			
130	190	36			
140	200	36			
145	205	21	Se baja el fuego	118909,19	2,57
153	205	0	Se apaga el fuego	118909,21	0,15
161	205	0	Se adiciona agua		
164	99	21	Se vuelve a encender el fuego	118909,21	0,70
240	99	21	Se apaga el fuego	118910,09	0,70

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro E.2: Datos obtenidos en el monitoreo del consumo de gas natural para la elaboración de colorante caramelo en la Marmita 2

Tiempo (min)	Temp. (°C)	% de Abertura	Observaciones	Lectura del medidor (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> /h
0	22	36	300Kg de azúcar	120191,89	
67	155	36	Fusión completa	120197,21	4,76
100	187	36	Caramelizado		
106	192	36			
111	198	36			
120	210	21	Se baja el fuego	120201,34	4,68
125	212	21			
126	212	0	Se apaga el fuego	120201,55	2,10
131	212	0	Se adiciona agua		
135	99	21	Se vuelve a encender el fuego	120201,55	2,34
200	99	21	Se apaga el fuego	120204,08	2,34

Fuente: Elaboración propia.

**Comparación de flujo de gas para cada marmita:**

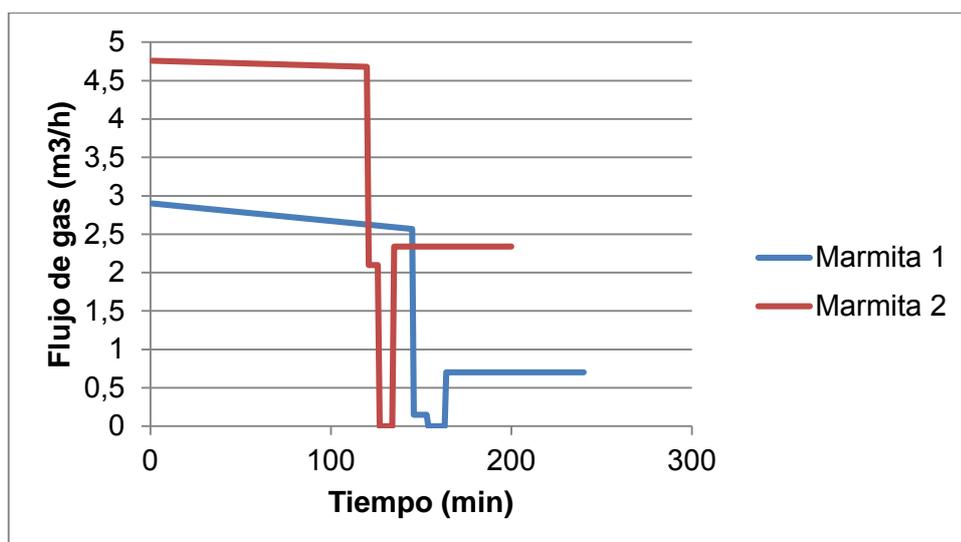


Figura E.1: Flujos de gas para cada marmita lo largo del proceso

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO F: MODELO DE FICHA TÉCNICA DEL COLORANTE CAMELO KIKKO PARA UNA POSIBLE COMERCIALIZACIÓN

Cuadro F.1: Ficha técnica del colorante proveniente del azúcar Cabaña.

(Logo de la empresa)	<b>KIKKO CORPORATION S.A.</b>		Fecha de Actualización:
	<b>FICHA TÉCNICA</b>		
<b>NOMBRE DEL PRODUCTO</b>			
Colorante color caramelo KIKKO (E-150 a)			
<b>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO</b>			
Colorante líquido natural, denso y viscoso obtenido a través de la caramelización de la sacarosa			
<b>COMPOSICIÓN</b>			
Azúcar Blanca Refinada Agua			
<b>CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS</b>			
Apariencia		Líquido viscoso	
Olor		Marrón oscuro	
<b>PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS</b>			
Poder tintóreo (Solución acuosa 0,1%)		118 ± 9	
Matiz (Solución acuosa 0,1%)		6,06 ± 0,10	
PH		2,24 ± 0,05	
Viscosidad Brookfield LVT #3–6 rpm, (cps)		600 - 800	
Gravedad específica (g/mL)		1,33 ± 0,01	
Punto Isoeléctrico		2,0 - 2,5	
<b>PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS</b>			
Coliformes (UNC/g)		<10	
Aerobios (UNC/g)		<10	
Mohos (UNC/g)		<10	
Levaduras (UNC/g)		<10	
Salmonella (UNC/g)		Ausencia	
<b>CONSERVACIÓN Y VIDA ÚTIL</b>			
El producto debe ser almacenado en un lugar limpio, fresco, seco y protegido contra el sol. Manteniendo las anteriores condiciones, el producto tiene una vida útil de 12 meses			
<b>USOS E INSTRUCCIONES</b>			
El producto debe mezclarse junto con los demás ingredientes, su dosificación es según la formulación de cada cual.			

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro F.2: Ficha técnica del colorante proveniente del azúcar Risaralda.

(Logo de la empresa)	<b>KIKKO CORPORATION S.A.</b>	Fecha de Actualización:
	<b>FICHA TÉCNICA</b>	
<b>NOMBRE DEL PRODUCTO</b>		
Colorante color caramelo KIKKO (E-150 a)		
<b>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO</b>		
Colorante líquido natural, denso y viscoso obtenido a través de la caramelización de la sacarosa		
<b>COMPOSICIÓN</b>		
Azúcar Blanca Refinada Agua		
<b>CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS</b>		
Apariencia	Líquido viscoso	
Olor	Marrón oscuro	
<b>PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS</b>		
Poder tintóreo (Solución acuosa 0,1%)	127 ± 15	
Matiz (Solución acuosa 0,1%)	6,06 ± 0,24	
PH	2,24 ± 0,07	
Viscosidad Brookfield LVT #3–6 rpm, (cps)	600 - 800	
Gravedad específica (g/mL)	1,33 ± 0,01	
Punto Isoeléctrico	2,0 – 2,5	
<b>PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS</b>		
Coliformes (UNC/g)	<10	
Aerobios (UNC/g)	<10	
Mohos (UNC/g)	<10	
Levaduras (UNC/g)	<10	
Salmonella (UNC/g)	Ausencia	
<b>CONSERVACIÓN Y VIDA ÚTIL</b>		
El producto debe ser almacenado en un lugar limpio, fresco, seco y protegido contra el sol. Manteniendo las anteriores condiciones el producto tiene una vida útil de 12 meses		
<b>USOS E INSTRUCCIONES</b>		
El producto debe mezclarse junto con los demás ingredientes, su dosificación es según la formulación de cada cual.		

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro F.3: Ficha técnica del colorante proveniente del azúcar Incauca.

(Logo de la empresa)	<b>KIKKO CORPORATION S.A.</b>	Fecha de Actualización:
	<b>FICHA TÉCNICA</b>	
<b>NOMBRE DEL PRODUCTO</b>		
Colorante color caramelo KIKKO (E-150 a)		
<b>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO</b>		
Colorante líquido natural, denso y viscoso obtenido a través de la caramelización de la sacarosa		
<b>COMPOSICIÓN</b>		
Azúcar Blanca Refinada Agua		
<b>CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS</b>		
Apariencia	Líquido viscoso	
Olor	Marrón oscuro	
<b>PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS</b>		
Poder tintóreo (Solución acuosa 0,1%)	124 ± 12	
Matiz (Solución acuosa 0,1%)	5,98 ± 0,15	
PH	2,32 ± 0,11	
Viscosidad Brookfield LVT #3–6 rpm, (cps)	600 - 800	
Gravedad específica (g/mL)	1,33 ± 0,01	
Punto Isoeléctrico	2,0 – 2,5	
<b>PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS</b>		
Coliformes (UNC/g)	<10	
Aerobios (UNC/g)	<10	
Mohos (UNC/g)	<10	
Levaduras (UNC/g)	<10	
Salmonella (UNC/g)	Ausencia	
<b>CONSERVACIÓN Y VIDA ÚTIL</b>		
El producto debe ser almacenado en un lugar limpio, fresco, seco y protegido contra el sol. Manteniendo las anteriores condiciones el producto tiene una vida útil de 12 meses		
<b>USOS E INSTRUCCIONES</b>		
El producto debe mezclarse junto con los demás ingredientes, su dosificación es según la formulación de cada cual.		

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO G: ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS DEL PROCESO PRODUCTIVO

### G.1. ESTUDIO DEL PROCESO ACTUAL:

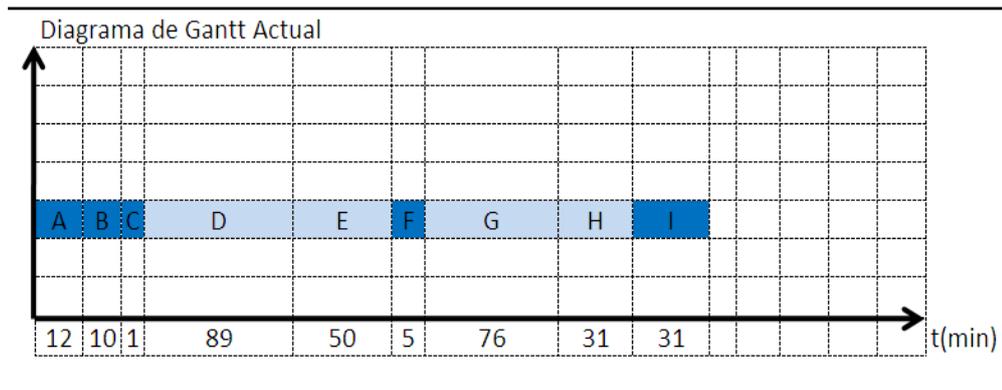
Cuadro G.1: Hoja de observaciones y resultados del estudio del tiempo del proceso:

HOJA DE ESTUDIO DE TIEMPOS															
Área :Cocina		Equipo :Marmita 1													
Sección :Caramelo		Operación :Elaboración de colorante caramelo													
Operario :Dionisio Cárdenas															
Nº	Operaciones	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total	Prom.
1	Traer el azúcar del almacén	10	12	15	12	15	10	10	10	12	14	13	10	143	12
2	Adicionar el azúcar a la marmita	10	10	12	8	12	8	10	12	10	10	10	10	122	10
3	Encender el quemador	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	1
4	Esperar la fusión total del azúcar	90	83	97	85	95	90	70	100	95	90	90	82	1067	89
5	Esperar que el azúcar caramelize	47	47	52	52	56	57	49	45	48	46	48	48	595	50
6	Apagar el fuego	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	1
7	Adicionar agua fría	2	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3	2	31	3
8	Volver a encender el fuego	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	1
9	Esperar que se diluya el contenido	82	83	72	76	64	72	101	65	71	71	71	81	909	76
10	Apagar el fuego	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	1
11	Dejar reposar el colorante caliente	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	360	30
12	Acercar el recipiente de almacenamiento de colorante	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	1
13	Trasladar el colorante al recipiente de almacenamiento	30	30	30	28	29	30	32	30	30	30	30	28	357	30
14	Almacenar el colorante	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	1
TOTALES														3656	305

Fuente: Elaboración propia.

Se muestra la distribución de los tiempos a través del diagrama de Gantt para observar los tiempos muertos:

Figura G.1: Diagrama de Gantt del proceso actual



Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

- Actividad del equipo 1
- Actividad del equipo 1 y del operario

Y:

- A Traer el azúcar del almacén
- B Adicionar el azúcar a la marmita
- C Encender el quemador
- D Esperar la fusión total del azúcar en la marmita
- E Esperar que caramelize el contenido de la marmita
- F Finalizar el caramelizado
- G Esperar que se diluya el contenido de la marmita
- H Dejar reposar el colorante caramelo caliente en la marmita
- I Trasladar el colorante al recipiente de almacenamiento

**CÁLCULO DEL TIEMPO ESTÁNDAR:****Tiempo Normal (TN):**

$$TN = \text{Tiempo promedio} * \text{Factor de calificación} \quad (G.1)$$

El tiempo normal, para un factor de calificación 1 en todos los pasos del proceso, sería 305 minutos (del diagrama de Grantt), es decir 5 horas 5 minutos.

**Suplementos según las condiciones observadas:**

Necesidades personales : 2%

Por fatiga : 4%

Por trabajar de pie : 1%

Ruido intermitente y fuerte : 1%

Demoras inevitables : 1%

Tolerancia Total: 2% +4%+1%+1%+1% = 9%

**Tiempo estándar (TS):**

$$TS = TN * (1 + \text{suplemento})$$

$$TS = 305 * (1 + 0,09)$$

$$TS = 332 \text{min} = 5 \text{ h } 32 \text{ min}$$

Cuadro G.2: Diagrama de Flujo del Proceso Actual:

Nº	DIST. (m)	TIEMPO (min)	PROCESO					OPERACIONES
								
1	80	12		✓				Traer el azúcar del almacén
2	0	10	✓					Adicionar el azúcar a la marmita
3	4	1	✓					Encender el quemador
4	0	89	✓					Esperar la fusión total del azúcar
5	0	50	✓					Esperar que caramelize el contenido de la marmita
6	4	1	✓					Apagar el fuego
7	1	3	✓					Adicionar agua fría
8	4	1	✓					Volver a encender el fuego
9	0	76	✓					Esperar que se diluya el contenido
10	4	1	✓					Apagar el fuego
11	0	30					✓	Dejar reposar el colorante caramelo caliente
12	8	1		✓				Acercar el recipiente de almacenamiento de colorante
13	2	30		✓				Trasladar el colorante al recipiente de almacenamiento
14	8	1					✓	Almacenar el colorante

Fuente: Elaboración propia.

Representa gráficamente todas las actividades que se realiza durante la elaboración del colorante caramelo, es decir visualiza operaciones, inspecciones, transportes, almacenajes y demoras. Formato aplicado para la recolección de información acerca del método de elaboración de colorante caramelo.

## **G.2.IDENTIFICACIÓN DE DESPERDICIOS EN EL PROCESO ACTUAL:**

### **Esperas:**

- En la operación N°11 del cuadro G.2 se tiene una espera por parte del operario, para poder trasladar el caramelo al contenedor que lo almacena. Debido a los vapores calientes que hacen dificultoso la extracción manual del colorante.

### **Exceso de movimientos:**

- Cada vez que el operario desea prender, apagar o disminuir el fuego, debe bajar las escaleras caminar al tablero que se encuentra por lo menos a 4 metros desde la ubicación de las marmitas y regresar. Esta operación se realiza 5 veces por marmita, realizando en total 10 veces si solo se producen dos lotes ó 20 veces si se producen 4 lotes en el día. Ver figura G.2.
- La extracción del colorante de la marmita al contenedor que lo almacena, se realiza con una jarra de 4L que llena el balde de 10 L (3 veces por balde) y esto hasta desocupar los 288 L de caramelo es decir 30 veces aproximadamente levanta el balde y 90 veces se agacha para extraer el caramelo. Y el sistema cuenta con dos marmitas, las cuales realizan dos procesos por día en algunas ocasiones. En conclusión el operario realiza 180 ó 360 veces el movimiento de extracción de colorante con la jarra y 60 ó 120 veces el movimiento de llevar el balde por día en el caso de la elaboración de 2 ó 4 lotes correspondientemente. Ver figura G.4 y G.5.



Figura G.2: Distancia del tablero de control a la marmita  
Fuente: Fotografía tomada por la autora, diciembre del 2012.

- En el llenado del azúcar en estado sólido a las marmitas, lo realizan levantando los sacos desde un nivel bajo a nivel superior, realizando movimientos repetitivos y con una postura inadecuada para ese tipo de esfuerzos. Ver la altura en la figura G.3.

#### Operaciones riesgosas:

- El solo tránsito de un nivel superior hacia el nivel inferior donde se encuentra el tablero de control (comunicado por peldaños relativamente altos), pues el desnivel podría complicar la situación de alguna caída por parte del operario. Ver figura G.3.

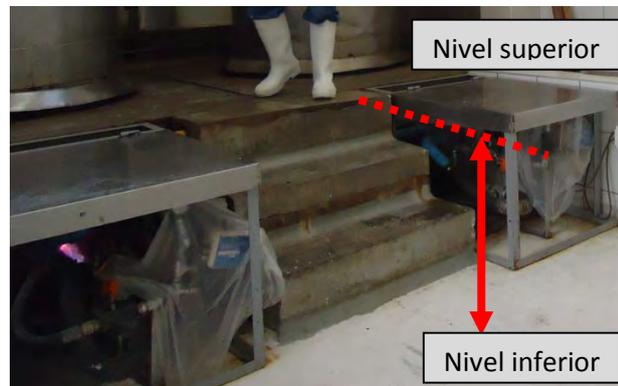


Figura G.3: Desnivel entre el área de caramelizado y el pasadizo donde se encuentra el tablero de control.

Fuente: Fotografía tomada por la autora, diciembre del 2012.

- Para trasladar el caramelo desde la marmita al recipiente contenedor, el operario debe extraerlo de manera manual utilizando una jarra y realizando movimientos repetitivos y riesgosos que consiste en introducir el brazo, cabeza y tronco (hasta más de la mitad del cuerpo) si es necesario, cuando el nivel se encuentra por debajo, inhalando los vapores que emanan del colorante aún caliente (ver figura G.4). Tomando en cuenta que el operario realiza la tarea encontrándose solo en el área, la situación se agrava en caso de algún accidente.
- Luego debe llenar el balde de 10L (3 jarras), para proceder a levantar y vaciar al contenedor que se encuentra a 2 metros de la marmita, en paralelo se realiza un filtrado a través de un tamiz que se encuentra encima del contenedor; sobre el cual vacía el balde de colorante caliente, recibiendo al rostro los vapores calientes que se producen al realizar dicho acto; contando solo con una simple mascarilla no adecuada para vapores. Ver figura G.5.



Figura G.4: Extracción del colorante caramelo cuando el nivel se encuentra bajo.

Fuente: Fotografía tomada por la autora, diciembre del 2012.



Figura G.5: Vaciado de balde de caramelo caliente al contenedor que lo almacena.

Fuente: Fotografía tomada por la autora, diciembre del 2012.

### Ocurrencias por el tipo de desperdicio:

Cuadro G.3: Ocurrencia por tipo de desperdicio

Tipos de desperdicios	Ocurrencias
Esperas	1
Exceso de movimientos	240
Operaciones riesgosas	180

Fuente: Elaboración propia.

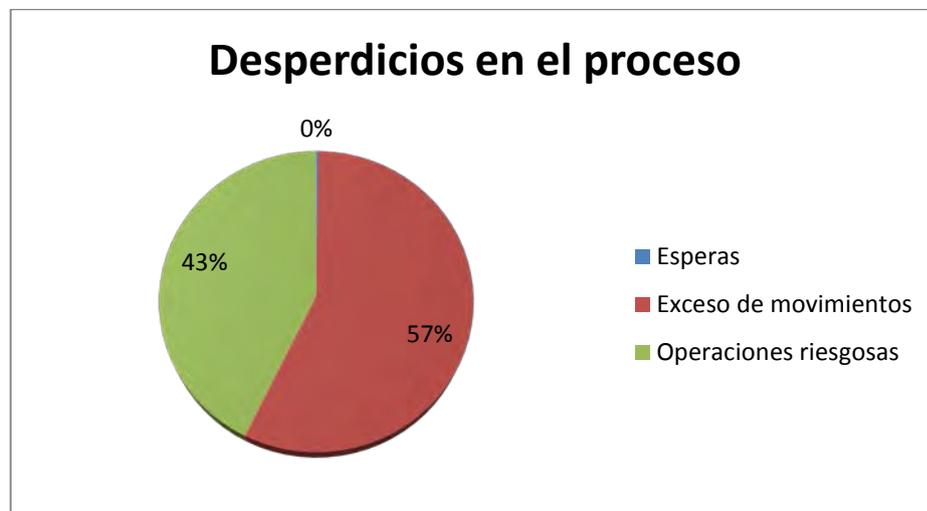


Figura G.6: Porcentaje de desperdicios en el proceso productivo  
Fuente: Elaboración propia.

### G.3.MEJORAS SUGERIDAS

El objetivo de este estudio es eliminar los desperdicios de tiempos encontrados en la hoja de diagrama de flujo de procesos, especificando cuales son los elementos y equipos necesarios para mejorar el sistema operativo actual del proceso de elaboración de colorante caramelo.

**a) EN LA DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA:**

- El espacio para el tránsito es muy reducido, dificultando el desplazamiento del operario y aumentando el riesgo de quemaduras en la piel, en momentos en los que el caramelo salpica hacia lugares externos a la marmita. El confinamiento aumenta la tendencia de acumulación de calor en la zona. Por lo que podría ampliarse el área para el lado izquierdo.
- El tablero de control de flujo de gas debería ubicarse cerca de las marmitas en el nivel superior para evitar la fatiga del operario de tener que bajar las gradas, manipular el tablero de control y subir nuevamente a supervisar el caramelo, lo cual a la vez disminuiría el tiempo que emplea para hacer esta acción. Ya cerca de la zona de caramelo el tablero de control debe contar con una cubierta para evitar que el caramelo alcance salpicar a los botones de mando. Véase la figura G.2: situación actual.
- Instalar un sistema de lluvia contra incendios en caso de emergencias o sismos. Debido al peligro que genera el colorante caramelo a altas temperaturas (al finalizar la etapa de caramelización), comportándose de manera muy inflamable, por lo cual es indispensable la supervisión de la marmita cuando pasa por esta etapa. Previniendo de esta manera cualquier riesgo de incendio en caso de una evacuación necesaria por parte del personal.
- Realizar una extensión en el sistema de tuberías para el suministro de agua al proceso y así eliminar los movimientos innecesarios que se realizan al manipular la manguera y realizar la instalación desde el lavadero al recipiente contenedor, así como también se eliminaría el tiempo de exposición de la manguera que se encuentra tendida sobre una superficie moderadamente caliente, extendiendo así la vida útil de dicha manguera.
- De ser posible, eliminar el desnivel que presenta el área de caramelizado, o en su defecto aumentar el número de gradas a 4 unidades, para disminuir la altura de las 3 ya existentes, ya que esto aumenta el esfuerzo para el desplazamiento.

**b) EN EL PUESTO DE TRABAJO:**

- Adquirir una bomba de diafragma o engranaje para líquido viscoso caliente (aprox. 80-90 °C), que traslade el caramelo de forma directa de la marmita al contenedor de almacenamiento produciendo así:
  - Reducción en el tiempo de demora en extraer y trasladar el caramelo por medio de jarras y baldes (Figura G.5). Dejando vacías las marmitas y listas para el siguiente lote si lo hubiese.
  - Elimina el riesgo de accidentes por caída del operario dentro de la marmita, ya que se inclina con más de la mitad de su cuerpo. Ver figura G.4.
  - Elimina la secuencia de movimientos repetitivos (entre 240 y 480 al día) que realiza el operario, dependiendo del número de lotes diarios elaborados. Ver figura G.4 y figura G.5.
  - Elimina el riesgo de inhalación de vapores irritantes en el momento de la extracción del colorante y en el momento de vaciado al recipiente contenedor. Ver figura G.4 y figura G.5.
  - Elimina el tiempo de traslado del contenedor de caramelo, de la marmita al lugar de almacenamiento y elimina el tiempo que toma buscar el equipo transportador (traspaleta). Ver figura G.7.
  - Reduce el tiempo suplementario de fatiga por parte del operario.



Figura G.7: Distancia de la marmita al contenedor

Fuente: Fotografía tomada por la autora, diciembre del 2012.

- **Elementos indispensables en el área de trabajo:**

Cuadro G.4: Elementos requeridos en el área y su función

ELEMENTOS REQUERIDOS	FUNCIÓN
Bomba de succión	Bombea el caramelo desde la marmita hasta el recipiente contenedor que lo almacena.
Tamiz	Filtra el colorante antes de ser almacenado
Balde de acero de 20L	Para adicionar agua al proceso e interrumpir violentamente el proceso de caramelizado
Palo de madera	Agitador para remover el azúcar sólido y homogenizar el caramelo en estado viscoso.

Fuente: Elaboración propia.

- **Implementación de seguridad para el operario:**

Cuadro G.5: Elementos requeridos para el operario y su función

ELEMENTOS REQUERIDOS	FUNCIÓN
Lentes de seguridad	Protege a los ojos del contacto con los vapores irritantes que emana el colorante caramelo.
Mascara media cara contra vapores irritantes	Protege el sistema respiratorio del riesgo de inhalación de vapores irritantes del caramelo. Su uso es al finalizar la caramelización y al filtrar el caramelo.
Protectores auriculares	Protege el canal auditivo de los ruidos fuertes que lo puedan dañar.
Botas de seguridad	Protege los pies de salpicaduras de caramelo que puedan salir de las marmitas.
Guantes de nitrilo	Protegen las manos y brazos (si es largo) de salpicaduras del colorante caramelo cuando aún esta líquido.
Mangas	Protege los brazos de salpicaduras que puedan salir por encima de las marmitas.

Fuente: Elaboración propia.

Aparte de la ampliación del área de trabajo (siendo esto una implementación a mediano plazo), las demás implementaciones estarían a cargo del área de mantenimiento de la empresa, por lo que solo se incurriría en un gasto económico adicional, la adquisición de una bomba de succión para el colorante caramelo, la que se justifica líneas arriba de muchas maneras beneficiosas para el proceso y por lo tanto para la empresa.

#### **G.4.DISEÑO DEL PROCESO ESTÁNDAR DE MANUFACTURA:**

El diseño de proceso de manufactura es una presentación en síntesis de las actividades de producción que se necesitan para elaborar el colorante. Teniendo en cuenta todas las características, variables de proceso y lenguaje estandarizado en la industria de procesos para proveer conocimiento metódico a toda persona que busque involucrarse en el proceso.

Con la implementación de elementos, equipos y modificaciones en el área de caramelizado, se tiene una reducción de tiempos en el proceso y en algunos casos una eliminación de pasos.

##### **a) DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO MEJORADO:**

El presente diagrama tiene por objetivo ser un instructivo que representa todas las operaciones necesarias que deben realizarse a lo largo del desarrollo del proceso de producción del colorante caramelo. Todas las actividades que se presentan en este estándar, fueron identificadas como indispensables para el proceso productivo, por lo cual el tiempo estándar debe ser recalculado tomando en cuenta las modificaciones realizadas. Ver cuadro G.6.

Cuadro G.6: Diagrama de flujo del proceso mejorado

Nº	DIST. (m)	TIEMPO (min)	PROCESO					OPERACIONES
								
1	80	12		✓				Traer el azúcar del almacén
2	0	10	✓					Adicionar el azúcar a la marmita
3	4	1	✓					Encender el quemador
4	0	89	✓					Esperar la fusión total del azúcar
5	0	50	✓					Esperar que caramelicé el contenido de la marmita
6	4	0	✓					Apagar el fuego
7	1	3	✓					Adicionar agua fría
8	4	0	✓					Volver a prender el fuego
9	0	76	✓					Esperar que se diluya el contenido de la marmita
10	4	0	✓					Apagar el fuego
11	0	30				✓		Dejar reposar el colorante caramelo caliente
12	2	5		✓				Trasladar el colorante al recipiente de almacenamiento a través de una bomba

Fuente: Elaboración propia.

Para un mejor panorama del proceso se utiliza el diagrama de Gantt

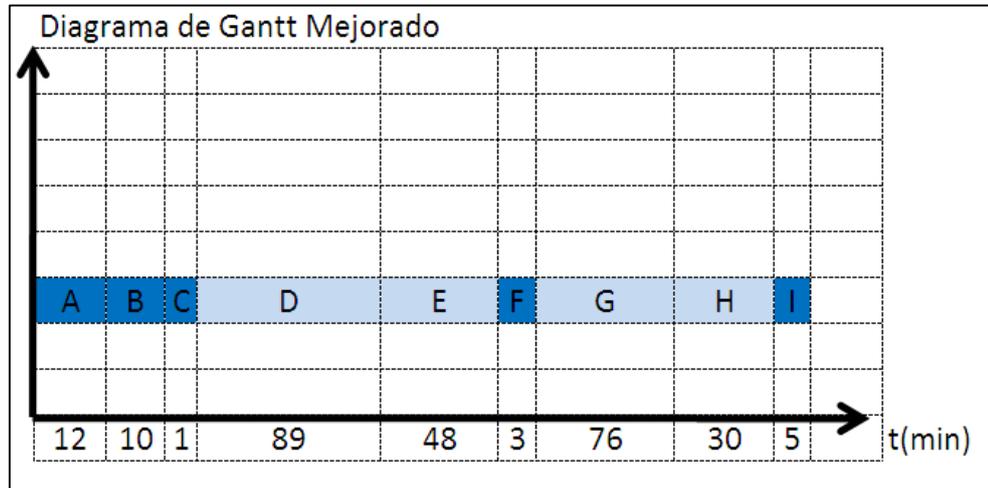


Figura G.8: Diagrama de Gantt del proceso mejorado

Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

- Actividad del equipo 1
- Actividad del equipo 1 y del operario

- A Traer el azúcar del almacén
- B Adicionar el azúcar a la marmita
- C Encender el quemador
- D Esperar la fusión total del azúcar en la marmita
- E Esperar que caramelice el contenido de la marmita
- F Finalizar el caramelizado
- G Esperar que se diluya el contenido de la marmita
- H Dejar reposar el colorante caramelo caliente en la marmita
- I Trasladar el colorante al recipiente de almacenamiento

#### b) CÁLCULO DEL TIEMPO ESTÁNDAR MEJORADO:

##### Tiempo Normal (TN):

El tiempo normal, para un factor de calificación 1 en todos los pasos del proceso, el tiempo normal total es 274 minutos (del diagrama de Grantt mejorado), es decir 4 horas y 34 minutos.

**Suplementos según las condiciones observadas:**

Necesidades personales : 2%  
 Por fatiga : 1%  
 Por trabajar de pie : 1%  
 Ruido intermitente y fuerte : 1%  
 Demoras inevitables : 1%  
 Tolerancia Total: 2% +1%+1%+1%+1% = 6%

**Tiempo estándar (TS):**

$TS = TN * (1 + \text{suplemento})$

$TS = 274 * (1 + 0.06)$

$TS = 290 \text{min} = 4.8 \text{horas} = 4 \text{h } 50 \text{min}$

**c) COMPARACIÓN DE DIAGRAMAS DE FLUJOS ANTES Y DESPUÉS DE LA PROPUESTA:**

Cuadro G.7: Cuadro de comparación

RESUMEN	OCURRENCIA (unid)		TIEMPO (min)		ECONOMÍA TOTAL EN TIEMPO
	Actual	Mejorado	Actual	Mejorado	
Operación 	9	9	231	228	3(Economía del 1% en operaciones)
Transporte 	3	2	43	17	26 (Economía del 60% en transporte)
Inspección 					
Demoras 	1	1	30	30	0 (Economía del 0% en demoras)
Almacenamiento 	1	0	1	0	1 (Economía del 100% en almacenamiento)*

Fuente: Elaboración propia.

\*A través de la nueva forma de almacenar el caramelo directamente, se elimina el tiempo de localizar el contenedor en el almacén a través del vehículo transportador.