



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA EN LA FORMULACIÓN DE TINTA PARA IMPRESORAS DE  
INYECCIÓN POR BURBUJAS A PARTIR DE COLORANTES NATURALES, MEDIANTE LA  
COMPARACIÓN DE SUS PROPIEDADES CON LA TINTA COMERCIAL ARTIFICIAL**

**Ronny Martín González Guay**

Asesorado por el Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez

Guatemala, abril de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA EN LA FORMULACIÓN DE TINTA PARA IMPRESORAS DE  
INYECCIÓN POR BURBUJAS A PARTIR DE COLORANTES NATURALES, MEDIANTE LA  
COMPARACIÓN DE SUS PROPIEDADES CON LA TINTA COMERCIAL ARTIFICIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**RONNY MARTÍN GONZÁLEZ GUAY**

ASESORADO POR EL ING. FEDERICO GUILLERMO SALAZAR RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, ABRIL DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

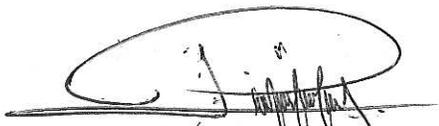
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortíz Castillo
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA EN LA FORMULACIÓN DE TINTA PARA IMPRESORAS DE INYECCIÓN POR BURBUJAS A PARTIR DE COLORANTES NATURALES, MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE SUS PROPIEDADES CON LA TINTA COMERCIAL ARTIFICIAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 25 de enero de 2012.



**Ronny Martín González Guay**

Guatemala, 10 de octubre de 2012

Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Víctor Monzón Valdez  
Director de Escuela de Ingeniería Química

Atentamente hago de su conocimiento que el estudiante de ingeniería química, Ronny Martín González Guay, carné 2007 – 14192, cuenta con mi autorización y aprobación para presentar el trabajo de graduación titulado "Factibilidad técnica y económica en la formulación de tinta para impresoras de inyección por burbujas a partir de colorantes naturales, mediante la comparación de sus propiedades con la tinta comercial artificial".

Suscribo cordialmente,

 Federico G. Salazar R.  
INGENIERO QUIMICO  
COLEGIADO 201

Ing. Qco. Federico Salazar

Colegiado No. 201



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 09 de noviembre de 2012  
Ref. EI.Q.TG-IF.050.2012

Ingeniero  
**Víctor Manuel Monzón Valdez**  
DIRECTOR  
Escuela Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-004-2012-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Solicitado por el estudiante universitario: **Ronny Martín González Guay**

Identificado con número de carné: **2007-14192**

Previo a optar al título de INGENIERO QUÍMICO.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA EN LA FORMULACIÓN DE TINTA  
PARA IMPRESORAS DE INYECCIÓN POR BURBUJAS A PARTIR DE  
COLORANTES NATURALES, MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE SUS  
PROPIEDADES CON LA TINTA COMERCIAL ARTIFICIAL**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Federico Salazar**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
ACREDITADO POR  
Agencia Centroamericana de Acreditación de  
Programas de Arquitectura y de Ingeniería  
Período 2009 - 2012



ACAAI



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Ref.EIQ.TG.078.2013

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **RONNY MARTÍN GONZÁLEZ GUAY** titulado: "**FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA EN LA FORMULACIÓN DE TINTA PARA IMPRESORAS DE INYECCIÓN POR BURBUJAS A PARTIR DE COLORANTES NATURALES, MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE SUS PROPIEDADES CON LA TINTA COMERCIAL ARTIFICIAL**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

  
Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, abril 2013



Cc: Archivo  
VMMV/ale

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

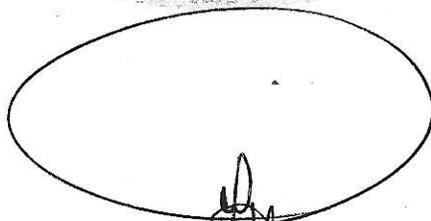


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 241 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA EN LA FORMULACIÓN DE TINTA PARA IMPRESORAS DE INYECCIÓN POR BURBUJAS A PARTIR DE COLORANTES NATURALES, MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE SUS PROPIEDADES CON LA TINTA COMERCIAL ARTIFICIAL**, presentado por el estudiante universitario: **Ronny Martín González Guay**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 4 de abril de 2013

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser el creador del universo y de la vida.
<b>Jesús y Virgen María</b>	Por darme la sabiduría y hacer de mí la persona que soy.
<b>Mis padres</b>	Guillermo Melini y Carin Guay, por su amor y apoyo incondicional, consejos y el esfuerzo que hicieron para lograr mi meta.
<b>Mi abuela</b>	Alfa Marina de Guay, por su cariño y sus cuidados a lo largo de toda mi vida.
<b>Mis hermanos</b>	Giovanna Melini, Alejandra, Diego y Ronny González, por su apoyo, consejos y confianza.
<b>Toda mi familia</b>	Por confiar en mí y el apoyo que me han otorgado en mis estudios.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Academia por excelencia en Guatemala.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por otorgarme el espacio necesario en mis actividades como estudiante.
<b>Ing. Federico Salazar</b>	Por su amistad, asesoramiento y confianza en este trabajo de graduación.
<b>Ing. Dr. Adolfo Gramajo</b>	Por su apoyo y amistad.
<b>Ing. Federico Fuentes</b>	Por su ayuda en las pruebas fisicoquímicas y su amistad.
<b>Bayer CropScience, Planta Amatitlán</b>	Por darme el espacio necesario en el laboratorio de control de calidad. Y a los laboratoristas, gracias por su apoyo.
<b>POLCHEMICAL</b>	Por hacer posible la formulación de las tintas y otorgarme el espacio requerido.
<b>Guatemala</b>	Gracias por su esfuerzo. Por ello, le serviré incondicionalmente.



	2.2.3.1.	Modelo del color RGB.....	17
	2.2.3.2.	Modelo del color CMYK .....	17
	2.2.3.3.	Modelo del color CIE 1931 .....	18
2.3.		Impresoras.....	19
2.4.		Tecnologías de impresión .....	21
	2.4.1.	Inyección de tinta.....	21
		2.4.1.1. Inyección de tinta continua .....	23
		2.4.1.2. Drop-on-demand .....	25
	2.4.2.	Tecnología digital de textiles.....	29
		2.4.2.1. Impresión digital en alfombras .....	29
		2.4.2.2. Sublimación .....	30
		2.4.2.3. Inyección térmica de tinta e impresión de textiles .....	30
2.5.		Tintas para impresora .....	31
	2.5.1.	Tecnología de tintas para impresora por inyección .....	31
		2.5.1.1. Preparación de la tinta y composición.....	32
		2.5.1.2. La tinta durante su almacenamiento .	35
		2.5.1.3. Rendimiento de la tinta en el cabezal .....	39
		2.5.1.4. El impacto de las gotas de la tinta ....	44
		2.5.1.5. Proceso de coloración .....	46
3.		DISEÑO METODOLÓGICO.....	51
	3.1.	Definición de las variables en el estudio de factibilidad técnica .....	51
	3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	52
		3.2.1. Tratamiento de materia prima .....	53

3.2.2.	Procedimiento experimental .....	53
3.2.3.	Preparación de los colorantes naturales .....	54
3.2.4.	Operaciones unitarias en el proceso .....	54
3.2.5.	Manejo de productos y residuos.....	55
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	56
3.4.	Recursos físicos y materiales disponibles .....	57
3.4.1.	Recursos físicos disponibles .....	57
3.4.2.	Recursos materiales disponibles.....	57
3.4.2.1.	Materia prima .....	58
3.4.2.2.	Reactivos .....	58
3.4.2.3.	Cristalería.....	59
3.4.2.4.	Equipo.....	60
3.4.2.5.	Otros materiales.....	60
3.5.	Técnica cuantitativa y cualitativa .....	61
3.5.1.	Diseño experimental general.....	62
3.5.2.	Análisis del diseño experimental .....	63
3.5.3.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables.....	63
3.5.3.1.	Concentración de la tinta.....	63
3.5.3.2.	Tiempo de secado.....	64
3.5.3.3.	Densidad.....	65
3.5.3.4.	Viscosidad.....	65
3.5.3.5.	Tensión superficial .....	66
3.5.3.6.	Temperatura de ebullición.....	66
3.5.3.7.	Prueba de impresión .....	67
3.5.3.8.	Configuración RGB e intensidad del color .....	67
3.5.3.9.	Análisis de factibilidad económica .....	67
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información .....	68

3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información .....	77
4.	RESULTADOS.....	79
4.1.	Formulaciones de las tintas .....	79
4.2.	Concentración óptima de las tintas .....	82
4.3.	Tiempo de secado de las tintas .....	83
4.4.	Propiedades fisicoquímicas de las tintas.....	85
4.5.	Prueba de impresión de las tintas.....	88
4.6.	Intensidad del color de las tintas .....	89
4.7.	Factibilidad económica de las tintas.....	89
4.8.	Análisis estadístico de las muestras de tinta.....	90
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	93
	CONCLUSIONES .....	101
	RECOMENDACIONES .....	103
	BIBLIOGRAFÍA .....	105
	APÉNDICES .....	111

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	El código de Dresden .....	8
2.	Descripción botánica de la hoja tinta.....	10
3.	Descripción botánica del palo de Campeche .....	12
4.	La caña de azúcar .....	14
5.	La impresora y sus partes.....	21
6.	Diagrama de la tecnología de inyección de tinta .....	22
7.	Tecnología de inyección de tinta piezoeléctrica .....	26
8.	Gráfica de presión, temperatura y cambio de volumen de burbuja durante el ciclo de formación de la inyección térmica .....	28
9.	Formación del proceso de la gota.....	29
10.	Tecnología de tintas para impresora por inyección .....	32
11.	Repulsión eléctrica .....	36
12.	Esquema del impacto de gota en superficie suave .....	45
13.	Equipo para la elaboración de la tinta .....	54
14.	Diagrama de flujo del experimento .....	62
15.	Diseño de la prueba de impresión .....	73
16.	Paleta de colores de Microsoft Office 2007 .....	74
17.	Curvas de tiempo de secado para cada muestra de tinta a T = 25 °C .....	83
18.	Curvas de tiempo de secado para cada muestra de tinta a T = 35 °C .....	84
19.	Curvas de densidad para cada muestra de tinta .....	85
20.	Curvas de viscosidad para cada muestra de tinta .....	86

21.	Curvas de tensión superficial para cada muestra de tinta .....	87
-----	--	----

## TABLAS

I.	Variables de la factibilidad técnica de la tinta .....	51
II.	Variables manipuladas .....	52
III.	Variables de las propiedades y características.....	52
IV.	Variables de las propiedades y características cuantitativas .....	61
V.	Masa para la molienda de materia prima.....	68
VI.	Masa de materia prima para la proporción colorante natural/Corax P – agua destilada .....	69
VII.	Volumen de los aditivos a las muestras.....	69
VIII.	Prueba del tiempo de secado para cada muestra .....	70
IX.	Datos del espectrofotómetro para cada muestra de la tinta.....	71
X.	Formato básico de la densidad según temperatura de la tinta.....	71
XI.	Formato básico de la viscosidad según temperatura de la tinta ...	72
XII.	Formato básico de la tensión superficial según temperatura de la tinta .....	72
XIII.	Formato básico de la temperatura de ebullición .....	73
XIV.	Formato básico del costo por producción unitario de la tinta a partir de colorantes naturales .....	75
XV.	Formato básico del costo por producción unitario de la tinta a partir del colorante Corax P de la casa DEGUSSA .....	76
XVI.	Formato básico del análisis estadístico realizado a la investigación .....	77
XVII.	Fórmula de la tinta no. 1.....	79
XVIII.	Fórmula de la tinta no. 2.....	80
XIX.	Fórmula de la tinta no. 3.....	80
XX.	Fórmula de la tinta no. 4.....	81

XXI.	Fórmula de la tinta no. 5 .....	81
XXII.	Fórmula de la tinta blanco.....	82
XXIII.	Concentración para cada muestra de las tintas .....	82
XXIV.	Temperatura de ebullición para cada muestra de las tintas a presión atmosférica .....	88
XXV.	Prueba de impresión de las tintas evaluadas a partir de criterios de aceptabilidad del modelo de impresión.....	88
XXVI.	Intensidad del color para cada modelo impreso.....	89
XXVII.	Costo por producción unitario de cada muestra de tinta .....	90
XXVIII.	Análisis estadístico de las propiedades de las tintas a partir de colorantes naturales.....	90
XXIX.	Análisis estadístico de las propiedades de las tintas a partir de colorantes artificiales .....	92



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$\dot{A}_\lambda$	Absorbancia
<b>h</b>	Altura
<b>cm</b>	Centímetro
<b>cP</b>	Centipoise
<b>R</b>	Coefficiente de correlación
<b>C</b>	Concentración
<b>C (Q)</b>	Costo
$\rho$	Densidad
$\Delta$	Diferencia
<b>E</b>	Exponencial
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius
<b>g</b>	Gramo

<b>hr</b>	Hora
<b>kg</b>	Kilogramo
<b><math>\lambda</math></b>	Longitud de onda
<b>m</b>	Masa
<b>MHz</b>	Megahertz
<b>M</b>	Mol
<b>Q</b>	Moneda quetzal
<b>mm</b>	Milímetro
<b>mm Hg</b>	Milímetros de mercurio
<b>min</b>	Minuto
<b>nm</b>	Nanómetro
<b>n</b>	Número de gotas
<b>Pa</b>	Pascal
<b>pL</b>	Picolitro
<b>%</b>	Porcentaje

<b>% w/w</b>	Porcentaje en peso
<b>% v/v</b>	Porcentaje en volumen
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>dpi</b>	Puntos por pulgada
<b>S</b>	Saturación del color
<b>s</b>	Segundos
<b>T</b>	Temperatura
<b>γ</b>	Tensión superficial
<b>t</b>	Tiempo
<b>μ</b>	Viscosidad



## GLOSARIO

<b>Colorante natural</b>	Denominada así la sustancia coloreada que proviene de extractos animales o vegetales y es capaz de teñir en las fibras.
<b>Colorante químico</b>	También conocido por colorante artificial, comercial o convencional. Es una sustancia coloreada capaz de teñir en las fibras.
<b>Intensidad</b>	También denominado saturación o pureza del color. Es la pureza relativa entre el blanco y la longitud de onda dominante del tinte.
<b>Inyección por burbujas</b>	Consiste en calentar el inyector el cual genera una burbuja de aire que empuja la tinta, sale la gota de tinta, se desconecta la energía y al enfriarse vuelve a llenarse con tinta para continuar el mismo procedimiento de impresión.
<b>Tinta artificial</b>	También denominada tinta química, comercial o convencional. Sustancia que contiene colorantes químicos y aditivos la cual es capaz de teñir una fibra.
<b>Tinta natural</b>	Es una sustancia que contiene colorantes naturales y aditivos y es capaz de teñir una fibra.



## RESUMEN

En el presente trabajo de graduación, se llevó a cabo una evaluación en la factibilidad técnica y económica de formular tinta para cartucho de impresora por inyección de burbujas a partir de una proporción de colorantes naturales y de agua. Los colorantes naturales utilizados fueron la hoja tinta (*Trophis Racemosa L. Urb.*), el palo de Campeche (*Haematoxylum Campechianum L.*) y el residuo de combustión de la biomasa (bagazo de caña de azúcar).

Se realizaron cinco proporciones diferentes de colorantes naturales y agua, con el fin de obtener la óptima concentración, medida a partir de la técnica de espectrofotometría visible. A cada una de las cinco proporciones se le agregaron los aditivos que se utilizan en la industria de las tintas genéricas: alcohol isopropílico, monoetilenglicol, glicerina y formol.

Se caracterizaron las propiedades fisicoquímicas de viscosidad, tensión superficial y densidad. También se evaluó la temperatura de ebullición y el tiempo de secado. Se realizó la comparación de estas variables respecto a las de la tinta formulada utilizando el colorante químico denominado Corax P (negro de humo) y a la de la tinta comercial convencional.

Por último, se procedió a realizar una prueba de impresión utilizando las tintas formuladas a partir de los colorantes naturales y se comparó con la tinta de colorante químico. Luego, cada prueba se sometió a una comparación de las impresiones respecto a la intensidad del colorante. También se realizó un estudio de factibilidad económico al utilizar colorantes naturales como parte de las tintas de impresión.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar la factibilidad técnica y económica en la formulación de tinta para cartucho de impresora de inyección por burbujas utilizando los aditivos necesarios y la combinación de los tres colorantes naturales hoja tinta, palo de Campeche y la combustión de bagazo de caña de azúcar, mediante la comparación de sus propiedades fisicoquímicas y costos por producción con la tinta comercial artificial, a nivel laboratorio.

### **Específicos**

1. Elaborar seis formulaciones de tinta utilizando como base estándar los aditivos descritos en referencias electrónicas en general, cinco proporciones diferentes de los tres colorantes naturales – agua y una proporción del colorante Corax P - agua.
2. Determinar la concentración óptima de las fórmulas establecidas de las tintas utilizando los colorantes naturales, el colorante Corax P y de la tinta comercial mediante la espectrofotometría visible.
3. Evaluar el tiempo de secado sobre una hoja de papel bond de 80 gramos utilizando la matriz de secado, a condiciones de 25 y 35 grados Celsius, de las tintas formuladas utilizando los colorantes naturales, el colorante Corax P y de la tinta comercial.

4. Evaluar las propiedades fisicoquímicas de densidad, viscosidad y tensión superficial variando 5 temperaturas y temperatura de ebullición a presión atmosférica, de las tintas formuladas a partir de colorantes naturales, del colorante Corax P y de la tinta comercial.
5. Evaluar la impresión en una hoja de papel bond de 80 gramos el modelo de prueba, utilizando las tintas formuladas a partir de los colorantes naturales, la tinta que contiene colorante Corax P y la tinta comercial.
6. Determinar la intensidad de color del modelo de prueba utilizando la tinta formulada a partir de los colorantes naturales, de la tinta del colorante Corax P y tinta comercial.
7. Evaluar la factibilidad económica de la formulación de tinta a partir de colorantes naturales y del colorante Corax P, según costos de materia prima, estimación de servicios, proceso de producción y comparando con los precios de las tintas convencionales.

## **HIPÓTESIS**

### **Hipótesis de investigación**

- Los colorantes naturales se estabilizan de forma general a los aditivos químicos al realizar la tinta para impresora de inyección por burbuja, por lo que la formulación es factible.

- Si las propiedades fisicoquímicas y características evaluadas de la tinta formulada a partir de colorantes naturales son semejantes a las que establecen las tintas comerciales, la prueba de impresión será eficiente. Por lo tanto, la tinta es técnicamente factible.

### **Hipótesis nula**

- Los colorantes naturales no se estabilizan de forma general a los aditivos químicos al realizar la tinta para impresora de inyección por burbuja, por lo que la formulación no es factible.
- Si las propiedades fisicoquímicas y características evaluadas de la tinta formulada a partir de los colorantes naturales no son semejantes a las que establecen las tintas comerciales, la prueba de impresión será deficiente. Por lo tanto, la tinta no es técnicamente factible.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación, trata de evaluar la factibilidad técnica y económica de una formulación de tinta para impresora de inyección por burbujas a partir de colorantes naturales hoja tinta (*Trophis Racemosa L. Urb.*), palo de Campeche (*Haematoxylum Campechianum L.*) y combustión de bagazo de la caña de azúcar y los aditivos que se utilizan comercialmente en la fabricación de tintas utilizando colorantes artificiales.

Los colorantes o pigmentos artificiales comúnmente utilizados por las pequeñas y medianas industrias son anilinas, como la nigrosina al agua. La anilina es un compuesto altamente tóxico, pero contiene buena intensidad de color y estabilidad con los aditivos, de manera que la impresión en el sustrato (papel) es de buena calidad.

Debido a esta causa, los tintes naturales han vuelto a resurgir en el área de los textiles, con el objetivo de teñir algodón o tela utilizando colorantes naturales en conjunto con mordientes. El estudio en esta área se ha llevado a cabo durante años con resultados positivos. Ahora bien, no se han desarrollado investigaciones que contemplen a las tintas para impresora.

Las tintas para impresora de inyección (conocidas en inglés como Inkjet Inks) poseen ciertas propiedades fisicoquímicas y reológicas que las hacen invulnerables a las condiciones de almacenamiento. Propiedades fisicoquímicas como la viscosidad, tensión superficial y densidad, son indispensables al realizar estudios y pruebas de las tintas, así como, el tiempo de secado y la difusión en el sustrato.

La presente investigación pretende fortalecer nacionalmente este campo de estudio, debido a la problemática de los compuestos químicos tóxicos. Por otra parte, el estudio trata de profundizar la indagación desde la perspectiva del ámbito tecnológico, con el objetivo de no quedarse en lo sabido, sino experimentar y trazar nuevos caminos por conocer.

Con el fin de lograr el objetivo general, se realizaron los estudios fisicoquímicos y del tiempo de secado de la tinta formulada con los colorantes naturales, así como, pruebas de impresión y, posteriormente, se determinó la intensidad del color, de manera que la calidad de impresión fuera la mejor posible. Se realizó, desde luego, un estudio de factibilidad económica al utilizar los colorantes naturales como parte de las tintas para impresora de inyección por burbuja y se compararon estos resultados con el colorante Corax P (negro de humo), proveniente de la casa de DEGUSSA y con los que caracterizan a las tintas comerciales.

Los estudios de las propiedades fisicoquímicas de las tintas formuladas con los colorantes naturales se pudieron realizar, tal como la teoría lo indica. Para la tensión superficial, se procedió a utilizar el método capilar y para la viscosidad, el método de caída de bola. La densidad, por su parte, se realizó simplemente con un picnómetro y una balanza analítica. La determinación de estas tres propiedades, se llevaron a cabo a 5 temperaturas diferentes. También se midió la temperatura de ebullición de las tintas formuladas a condiciones ambientales.

El tiempo de secado se evaluó variando las gotas a agregar en el papel, según especificaciones de la matriz de prueba de secado, tanto a 25 como a 35 grados Celsius.

El estudio de factibilidad económica de las tintas, se realizó según los costos de la materia prima y mediante estimaciones de proceso, servicios y mano de obra, previo a comparaciones respecto al costo de venta de la tinta comercial.

Debido al poco interés de la ciencia por abarcar esta área de investigación (pigmentos y colorantes naturales para tintas de impresora), la investigación se cataloga explorativa y a su vez descriptiva, gracias a los avances en los estudios de las tintas formuladas químicamente.



## 1. ANTECEDENTES

Desde la antigüedad, las civilizaciones han utilizado tintes de origen animal, vegetal y mineral, extraídos principalmente con herramientas y técnicas artesanales, cuyos secretos han sido guardados en las diferentes culturas. Por lo que esta clase de investigaciones y extracciones no es tema del presente.

En marzo del 2010, la Asociación FLAAR Mesoamérica, presentó un informe titulado “Tintes Naturales, su uso en Mesoamérica desde la época prehispánica”; autor: Cristina Guirola. En este informe, en el cual se plasman las plantas tintóreas utilizadas durante la época prehispánica y la colonia, contiene información de que los pigmentos de los tintes de los códices se obtuvieron de minerales, plantas (tallo, hojas, semillas, fruto), insectos (como la cochinilla – *Dactylopius coccus*) y animales, como la almeja marina (*Púrpura patula*).

Por muchos años, mundialmente, se ha estado investigando las extracciones de pigmentos y colorantes de origen natural para distintas fibras de papel. La demanda por estos productos ha venido creciendo día tras día, luego que investigaciones científicas hayan revelado que la toxicidad de los colorantes y pigmentos artificiales son dañinos para la salud.

La revista Herencia, Vol. 22 (1) 79 – 87, aprobada en el 2009, presentó un artículo titulado “Tintes Tradicionales para colorear papel”, en el cual se destaca la importancia del arte ancestral del teñido con sustancias extraídas de las plantas.

En el mismo, hay una formulación y prueba de tintes para teñir papel, realizando el estudio desde el 2002. Se trabajó con gran número de plantas, semillas, raíces, frutos y cortezas, entre las cuales se encuentran la cáscara de cebolla, las hojas de eucalipto, la raíz de cúrcuma, el azul de mata, el achiote, el helecho, la semilla de aguacate, cortezas de cedro, cocobola y nance, moras, remolacha y rosa de Jamaica. Hubo desechos de productos como las moras, remolacha y el eucalipto. Como resultado de dicha experiencia, se logró la recopilación científica de plantas idóneas para producir tintes y fibras para la producción de papel.

El 14 de mayo del 2007, se aprobó la publicación del estudio “Evaluación de colorantes de origen vegetal y su aplicación en el tinturado de fibras naturales”, realizado por el doctor en Ciencias Químicas Jaime Martín, la ingeniera agroindustrial Deya Amparo Pérez y la química Mara Isabel Orozco, pertenecientes al Grupo de Investigación Química de Productos Naturales de la Universidad del Cauca, Popoyán, Colombia.

Se evaluaron las condiciones de extracción de colorantes naturales del fruto del ají (*Capsicum sp*) y de las cubiertas secas de cebolla (*Allium cepa*) y su aplicación sobre fibras naturales de fique (*Furcraea sp*) y zapote (*Matisia Cordata*). Se encontraron resultados positivos en la tinción con el colorante de cebolla. Por otra parte, el colorante del ají dio resultados positivos como pigmento en las fibras de papel a base de las pulpas de fique y de zapote.

El Salvador, abril del 2005. Se publicó un proyecto denominado “Guía Técnica: Procesamiento del Añil en El Salvador”, autora: Ruth Emilia de Quintanilla.

Fue cofinanciado por el Proyecto Fomento de la Competitividad de las Empresas Rurales del Maraón y Añil en El Salvador, ejecutado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, con recursos financieros de CIDI/OEA. Se realizó un estudio detallado de la obtención de añil como pigmento/colorante, desde la investigación de sus propiedades bioquímicas hasta el diseño y puesta en marcha de una planta agroindustrial piloto para el procesamiento de añil (proceso Blagar).

Guatemala, no ha sido la excepción a las investigaciones de extraer pigmentos y colorantes de origen natural.

El Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) de la Facultad de Ingeniería y el Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales (IIA) de la Facultad de Agronomía, ambas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con el apoyo de la Dirección General de Investigación (DIGI), llevaron a cabo el proyecto “Estudio tecnológico sobre los tintes naturales extraídos de la corteza de tres especies forestales cultivadas en Guatemala, para teñir fibras naturales que cumplan con especificaciones de calidad exigidas por el mercado”, realizado en noviembre del 2007.

En dicho proyecto, se obtuvieron tintes naturales a nivel laboratorio y planta piloto de 3 especies forestales guatemaltecas: chaperno (*Lonchocarpus rugosus*), quebracho (*Lisyloma Bahamense*) y aliso (*Alnus Arguta*), utilizando tres solventes (agua y alcohol etílico al 35% y al 70%), con el fin de teñir fibras naturales de lana, maguey y algodón. Se realizaron pruebas fisicoquímicas para comprobar presencia de pigmentos colorantes por medio de pruebas calorimétricas y cromatográficas y se evaluó la calidad de las fibras teñidas con los extractos tintóreos obtenidos mediante la aplicación de pruebas fisicoquímicas de solidez.

Como resultados, se obtuvo que el aliso posee mayor valor de rendimiento, con 25,91% utilizando como solvente etanol al 35%. El de menor valor de rendimiento fue de 8,55% para la especie quebracho utilizando agua como solvente.

En octubre del 2004, Byron Alfredo Quiñonez Figueroa realizó su trabajo de graduación titulado “Extracción de colorante de Chile Jalapeño (*Capsicum annum L.*) a nivel laboratorio con tres solventes”. Los tres solventes utilizados fueron la acetona, etanol (grado industrial) y metanol, utilizando un extractor de cuchillas, realizando 5 corridas por cada solvente. Luego, los extractos fueron analizados por medio de cromatografía de capa fina y espectrofotometría UV. Los resultados demostraron que el solvente más efectivo para la obtención de carotenoides (pigmentos colorantes del chile jalapeño) es la acetona. Y por medio de la cromatografía y espectrofotometría se comprobó la presencia de carotenoides en todos los extractos.

Claudia Maribel Ac Santa Cruz, en su trabajo de graduación, realizado en abril del 2005, con título “Extracción a nivel de laboratorio de Aceite Esencial crudo de pericón (*Tagetes lucida Cav*), y utilización del desecho sólido para la extracción del colorante natural, para su uso en el teñido de fibras naturales”, utilizó los desechos obtenidos en la extracción del aceite esencial de Pericón para obtener, mediante el método Soxhlet, el colorante natural, con el fin de determinar con qué solvente se obtienen mejores rendimientos. Empleó los solventes acetona, metanol y etanol. Como resultado, estadísticamente no existió diferencia significativa entre los tres solventes, sin embargo, se obtuvieron mejores resultados utilizando etanol.

En marzo del 2004, Henry Estuardo del Cid Vásquez elaboró su trabajo de graduación “Extracción, a nivel de laboratorio, de los pigmentos colorantes del tipo flavonoides contenidos en la flor del subín (*Acacia farnesiana L. Willd*) proveniente de un bosque silvestre guatemalteco”. Se recolectaron y se secaron las flores en un secador de bandejas y se procedió a su extracción mediante el método Soxhlet, utilizando muestras de 10 gramos de flores secas, realizando tres corridas por cada solvente (metanol, etanol y acetona). Los resultados demostraron que con la acetona se obtiene mayor rendimiento en cuanto a la obtención de los extractos colorantes.

Lastimosamente, los proyectos de obtención de tintes de origen natural para su aplicación en fibras de papel son muy escasos no sólo en Guatemala, sino a nivel mundial. Los tintes artificiales, por su resistencia y alta tonalidad de color, han sustituido por completo a los colorantes o pigmentos naturales y han opacado las investigaciones de posibles tintes naturales para imprimir en papel. Se han realizado estudios en diferentes partes del mundo, sobre las propiedades de las tintas comerciales artificiales utilizadas en los cartuchos de las impresoras, que imprimen por el método de inyección por burbujas.

Li Yang, del Departamento de Ciencia y Tecnología (ITN) de la Universidad de Linköping, Suecia, realizó un estudio con título: “*Characterization of Ink Properties and Ink Jet Printing*” que en español se titularía “Caracterización de las propiedades de las tintas y tintas de inyección para impresora”. En este proyecto, se presenta un método para caracterizar el volumen de tinta (espesor equivalente de la capa de tinta de la impresora) para los colores primarios (*cyan*, magenta y amarillo) y sus propiedades por medio de mediciones espectrofotométricas (absorción y dispersión) en conjunto con simulaciones teóricas.

También fue obtenido el esquema de la composición de los colores primarios para generar los colores secundarios (azul, rojo y amarillo). Como resultado, las simulaciones para los valores espectrofotométricos se lograron para ambos colores (primarios y secundarios).

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Definiciones e historia de los colorantes**

Los colorantes y pigmentos han existido desde tiempos remotos y la humanidad ha tratado de imitar el aspecto físico del color. Se dividen en dos grandes grupos: colorantes naturales y colorantes artificiales.

#### **2.1.1. Colorantes naturales**

Los colorantes y pigmentos naturales comprenden todos aquellos que se obtienen a partir de la materia animal o vegetal sin (o con poco) tratamientos químicos.

Para que un colorante funcione como tal, debe ser estable químicamente con la fibra (substrato) a la cual es adherido, no debe perder su color por lavado y debe soportar la acción de la luz.

##### **2.1.1.1. Historia**

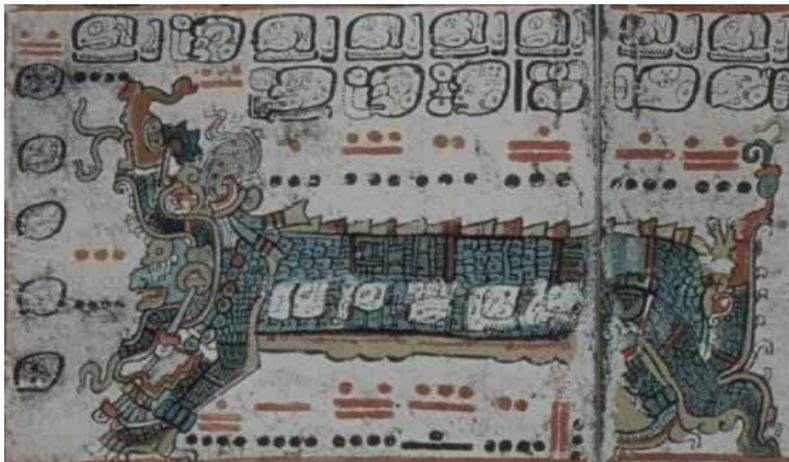
Desde épocas antiguas, se han utilizado sustancias naturales para producir tintes de colores. A pesar que los años han pasado, las pinturas rupestres de distintas civilizaciones como mayas, egipcios, griegos, etcétera, han permanecido con sus características distintivas y originales. Durante la época prehispánica, los tintes extraídos de las plantas fueron utilizados y combinados entre sí, formando los diferentes colores que se utilizaron en la pintura mural.

Los artistas del Clásico contaban con una paleta cromática de más de 30 colores diferentes, pero los dos colores más importantes fueron el azul y el verde. Los azules y verdes mayas son pigmentos con una base inorgánica.

- Los tintes de los códices

Los colores que más se utilizaron por los mayas para escribir en los códices fueron rojos, azules, verdes, negros, blancos, amarillos, naranja, café y morados. Tales pigmentos se obtuvieron de minerales, de plantas, insectos y de animales. Para lograr el propósito de escritura, utilizaron un aceite llamado “*axin*” obtenido del insecto *Coccus axin*, los cuales eran criados para este fin. Estos insectos eran hervidos para obtener el aceite de su cuerpo y se utilizaba como la base de los pigmentos.

Figura 1. **El código de Dresden**



Fuente: FULS, Andreas. Berlín 1999. [www.archaestronomie.de](http://www.archaestronomie.de). Consulta: mayo del 2011.

### **2.1.1.2. Importancia de los colorantes naturales en el mercado**

En las últimas décadas se ha establecido la aplicación de procedimientos amigables con el ambiente, originando el incremento a las normas de calidad y optimizar los procesos, principalmente a nivel de laboratorio.

Es por esto que Guatemala ha empezado investigaciones y a producir colorantes y pigmentos naturales, más que todo en el área de tinción de fibras, ya sea lana, algodón o telas. Dichas investigaciones han generado resultados positivos en el aprovechamiento integral y sostenible de recursos y la generación de valor agregado, para comercializar productos con las características exigidas.

El comercio de colorantes naturales recientemente tiene una aceptación considerable a causa de los riesgos asociados a los aditivos sintéticos.

### **2.1.1.3. Colorantes naturales importantes**

- Hoja tinta

La hoja tinta o también llamada ojochillo, ojochillo colorado, ramón de caballo, campanilla, entre otra variedad de sinónimos. Pertenece a la familia *Moraceae*, de especie *Trophis Racemosa (L.) Urb.*

Es un árbol indígena, nativo de México a Perú, Brasil y las Antillas. En Costa Rica se conoce del nivel del mar, hasta 1 300 metros de elevación. Es común en los bosques húmedos, matorrales y colinas calcáreas de mediana y poca elevación pero sombreado.

Del árbol, tiene de 10 a 17 metros de altura; corteza externa lisa, con lenticelas en bandas horizontales color gris claro; ramas jóvenes pardas, con lenticelas longitudinales; savia lechosa; estípulas lanceoladas de 2 a 4 milímetros de largo.

Sus hojas son simples, alternas de 7 a 23 centímetros de largo y de 2 a 8 centímetros de ancho, de forma oblongo – eípticas o elípticas, el ápice acuminado y la base aguda u obtusa, ásperas, margen entero, a veces aserrado hacia el ápice; pecíolos hasta de 1,5 centímetros de largo, glabros.

Los frutos de la hoja tinta son drupas sésiles, globosas u ovoides, de hasta 1 centímetro de diámetro, pubescentes, lóbulos estigmáticos persistentes, rojos o púrpuras al madurar; con una semilla amarillenta. Se observan de enero a junio y de octubre a diciembre.

Figura 2. **Descripción botánica de la hoja tinta**



Fuente: SÁNCHEZ VINDAS, Pablo Enrique. Flórula del Parque Nacional Cauhita. p. 223.

Las hojas de la hoja tinta las come el ganado, como también los frutos. También son utilizadas como galaptagogo y contra la diabetes.

La hoja tinta se utiliza por culturas indígenas para teñir la ropa, fibras de algodón, telas y plumas de azul - verde.

- Palo de Campeche

El palo de Campeche o palo tinte (*Haematoxylum campechianum*) es nativo de Guatemala, Belice y México. Los mayas reconocieron este árbol silvestre con el vocablo *ek*; por lo que su presencia influyó en la región de Campeche. Lo utilizaron para teñir mantas y los españoles tomaron conocimiento para hacer el mismo uso.

Los cronistas describían al palo de Campeche como madera dura, negruzca, de olor agradable, aplicado para colorear de encarnado. El palo no requería siembra ni cultivo, pues se desarrollaba de manera natural en tierras bajas y anegadizas. Extraían la sustancia de la parte más seca y dura del tronco, para teñir de color rojo.

A partir del siglo XVIII se extendió su cultivo por las Antillas y zonas septentrionales de Sudamérica y más tarde, hacia las regiones tropicales de Asia y de África.

El palo de Campeche es una especie arbórea perteneciente a la familia de las leguminosas o papilionáceas. Es un árbol que mide aproximadamente 7 metros de altura, de corteza áspera de color café oscura y con espinas agudas. Sus hojas de 3 a 6 centímetros de largo son alternas, perennes, crasas y obtusas por su base. Posee flores amarillas con pétalos de 7 a 9 milímetros, de 5 pétalos y corola blanca que se juntan en cimas sujetadas por un pedúnculo. El fruto es una drupa de 1 centímetro de largo, es ancho, de color rojo y posee por lo general una sola semilla.

Figura 3. **Descripción botánica del palo de Campeche**



Fuente: extraído de la web: [www.sld.cu/fitomed/palo\\_de\\_campeche](http://www.sld.cu/fitomed/palo_de_campeche). Consulta: mayo del 2011.

El palo de Campeche tiene escaso valor nutricional, pero se ha utilizado en el ámbito medicinal como apoyo en el tratamiento de la diarrea, cólicos y hasta contra el cólera. En la histología en medicina natural, las cualidades del tinte son muy utilizadas. La hematina puede usarse en dosis bajas, como astringente suave. Una infusión de flores del palo de Campeche se utiliza contra la bronquitis.

Se utiliza el color de la madera cuyo color es rojo café y la parte de la albura amarillenta. Los mayas extrajeron su tinte para utilizarlo en tinción de fibras de algodón, telas y en la escritura de papiros. Al mezclar el palo de Campeche con el añil, se llega a obtener un color negro-rojizo de gran brillo.

Según la calidad de la madera, el contenido de hematina se encuentra entre el rango de 20% a 80%, aproximadamente 10% de ácido tánico, aceite volátil, huella de hematina, quercetina y oxalato de calcio. La apariencia de la hematoxina es cristalina cuando está en polvo.

- Combustión de biomasa

En términos generales, la combustión de biomasa fue la fuente energética desde el inicio de los tiempos. La manera en que civilizaciones antiguas obtenían el calor era a partir de piedras, mediante las cuales realizaban chispas; hojas, raíces y ramas, como substratos y donde el fuego permanecía constante hasta volverse cenizas.

Las cenizas producto de dicha combustión, empezaron a ser utilizadas para escribir en las cuevas y códices, originando de esta manera murales color negro. Luego de una serie de expectativas por el uso de las cenizas, prosiguieron a utilizar otra fuente que produjera cenizas, de manera que estas fueran precisamente para escribir y permanentes. La combustión de huesos fue la mejor alternativa que las civilizaciones antiguas descubrieron.

La combustión de biomasa, como fuente de energía, fue desplazada luego por la combustión de los fósiles. En la actualidad, pensando en la protección del ambiente, vuelve a retomarse la biomasa como energía renovable la cual, a diferencia de los fósiles, genera una escasa aportación de CO<sub>2</sub>, dado que el CO<sub>2</sub> emitido en la combustión de biomasa es igual a la cantidad fijada durante su crecimiento.

Los ingenios realizan su energía a base del bagazo de la caña de azúcar. El bagazo es el subproducto de la caña de azúcar, el cual se quema en las calderas, produciendo en las calderas las cenizas, consideradas desechos.

Figura 4. **La caña de azúcar**



Fuente: Economía y comercio, admundo.com. Consulta: 23 de mayo del 2011.

## **2.1.2. Colorantes artificiales**

Son los colorantes obtenidos por síntesis química y los más populares en la actualidad, debido a sus excelentes propiedades, como la resistencia a ataques, variación de colores y uniformidad, bajo costo y alta intensidad de color.

### **2.1.2.1. Historia de los colorantes artificiales**

Los colorantes utilizados en las épocas antiguas para los alimentos, cosméticos y textiles, fueron obtenidos a base de plantas, insectos y animales. Fue hasta en 1856 que, el inglés Sir William Henry Perkin, en su intento de sintetizar quinina, oxidó sulfato de anilina con bicromato potásico y produjo el primer colorante sintético, la mauveína, color púrpura. El producto sólido aislado se convirtió en un excelente colorante para tejidos diversos.

A partir de 1856, el auge de los tintes sintéticos comenzó y continúa hasta la fecha, debido a su bajo costo, facilidad de producción industrial y resistencia a la luz. Se han sintetizado miles de compuestos químicos coloridos, de los cuales diez mil son producidos a escala industrial.

## **2.2. La teoría del color**

Son las reglas básicas destinadas a posibles fuentes de mezclas de los colores para el diseño de múltiples paletas y determinar efectos de color, dando como resultado valores según la percepción del color.

### **2.2.1. Colores sustractivos**

Los colores sustractivos, son colores basados en la luz reflejada de los pigmentos aplicados a las superficies. Forman esta síntesis sustractiva, el color magenta, el cyan y el amarillo. Son los colores básicos de las tintas que se usan en la mayoría de los sistemas de impresión, motivo por el cual estos colores han desplazado en la consideración de colores primarios a los tradicionales.

La mezcla de los tres colores primarios pigmento en teoría debería producir el negro, el color más oscuro y de menor cantidad de luz, por lo cual esta mezcla es conocida como síntesis sustractiva. En la práctica el color así obtenido no es lo bastante intenso, motivo por el cual se le agrega negro pigmento conformándose el espacio de color CMYK.

### **2.2.2. Propiedades del color**

Son propiedades que hacen a cierto color único, designando su apariencia y por lo tanto, su aspecto final luego de ciertas modificaciones.

### **2.2.2.1. Matiz o tono (*hue*)**

Es el estado puro del color, sin el blanco o negro agregados. Está relacionado con la longitud de onda o frecuencia dominante de las radiaciones visuales.

### **2.2.2.2. Saturación o intensidad**

Representa la pureza o intensidad de un color particular. Corresponde a la proporción de luz pura de la longitud de onda dominante y la luz blanca necesaria para definir el color. Un color 100% puro tiene una saturación del 100% y no contiene luz blanca. Los colores que se alejan del color puro contienen una mezcla entre luz blanca y el color puro comprendida entre 0% y 100% de saturación. La luz blanca y los grises tienen un 0% de saturación ya que no contienen color ni ninguna longitud de onda dominante.

### **2.2.2.3. Valor, brillo o luminosidad (*value*)**

Como solución a los problemas de evaluación del color se crearon sistemas de medición para cuantificarlo y expresarlo numéricamente, cuyo principio está basado en la cantidad de luz reflejada por el objeto.

Uno de los primeros sistemas de medición de color es el sistema Munsell creado por A. H. Munsell en 1905, el cual utilizó un gran número de tarjetas de colores clasificadas de acuerdo a su tono, luminosidad y saturación; posteriormente, el sistema Munsell evolucionó un poco más al asignarle una codificación de letras y números. De manera similar se puede mencionar el sistema Ostwald y el sistema OSA-UCS creados en base a la comparaciones visuales de muestras de color en catálogos.

La Organización Internacional de Luz y Color (*Commission Internationale de L'Eclairage*) CIE desarrolló dos importantes sistemas para la evaluación de color en términos de números basados en la medición de reflectancia espectral de la muestra.

### **2.2.3. Modelo del color**

Es un término que se usa para describir que tan claro u oscuro parece un color y se refiere a la cantidad de luz percibida. Los modelos del color más destacados científicamente son el RGB, CMYK y el de CIE de 1931.

#### **2.2.3.1. Modelo del color RGB**

Esta teoría se basa en que un color se obtiene por la mezcla de unos colores primarios aditivos rojo, verde y azul (RGB, *red*, *green* y *blue* por sus siglas en inglés). El modelo está basado directamente en el modelo triestímulos y síntesis aditiva. Es un modelo de color dependiente de dispositivo.

El modelo RGB forma un espacio 3D en el cual, cada coordenada o componente cromática suele ser [0,1] aunque en multimedia y procesamiento de imágenes está más extendida en cantidades discretas [0,255]. Todas las coordenadas que se extienden en la línea que parte del punto negro al blanco corresponden a la escala de los grises.

#### **2.2.3.2. Modelo del color CMYK**

El modelo CMY representa a los colores cian, magenta y amarillo como los secundarios del color luz o síntesis aditiva. Alternativamente, se corresponden con los primarios de la síntesis sustractiva del color.

La amplia mayoría de los dispositivos que emplean pigmentos colorados en la formación de los colores requieren la especificación CMY o CMYK (síntesis sustractiva a la que se añade una componente de tinta negra). Este modelo está concentrado en los sistemas de impresión. El espacio CMY se obtiene por transformación lineal del modelo RGB.

### **2.2.3.3. Modelo del color CIE 1931**

La CIE define tres variables X, Y y Z para sustituir al color rojo, verde y azul. El modelo cromático XYZ es independiente de dispositivo y se emplea en aplicaciones en las que la representación del color no dependa de la naturaleza del equipo o hardware. Asimismo, el modelo XYZ es empleado para especificación normalizada del color y en los cálculos colorimétricos.

Las variables de triestímulo XYZ, se determinan mediante ecuaciones que incluye a la energía espectral del iluminante (valor igual a 1 para cálculos en colorimetría), que multiplica al factor de reflectancia del objeto (que es función de la longitud de onda) y multiplica a las variables triestimulantes del observador estándar (1931)  $x_\lambda$ ,  $y_\lambda$ ,  $z_\lambda$  (obtenidas de tablas o gráficas en las cuales se representa la variable  $x_\lambda$ ,  $y_\lambda$ ,  $z_\lambda$  vs. longitud de onda).

La variable Y es función directamente de la longitud de onda y se cataloga como el valor, brillo o luminosidad, mientras que X y Z no se correlacionan con matiz (tono) o croma (saturación o intensidad). Como resultado, la CIE en 1931 recomendó utilizar el diagrama Yxy, en el cual el matiz (tono) está representado por todos los puntos alrededor del perímetro del diagrama de cromaticidad y la saturación por un movimiento del área central blanca (neutra) hacia el perímetro del diagrama.

El modelo del color CIE 1931 determina el color por sus valores triestimulantes  $Yxy$ .

### **2.3. Impresoras**

Una impresora es un periférico externo que tiene como función el transcribir una imagen o texto desde el ordenador hacia un sustrato (medio físico). Actualmente, existe gran cantidad de tipos de impresoras con distintas formas de imprimir.

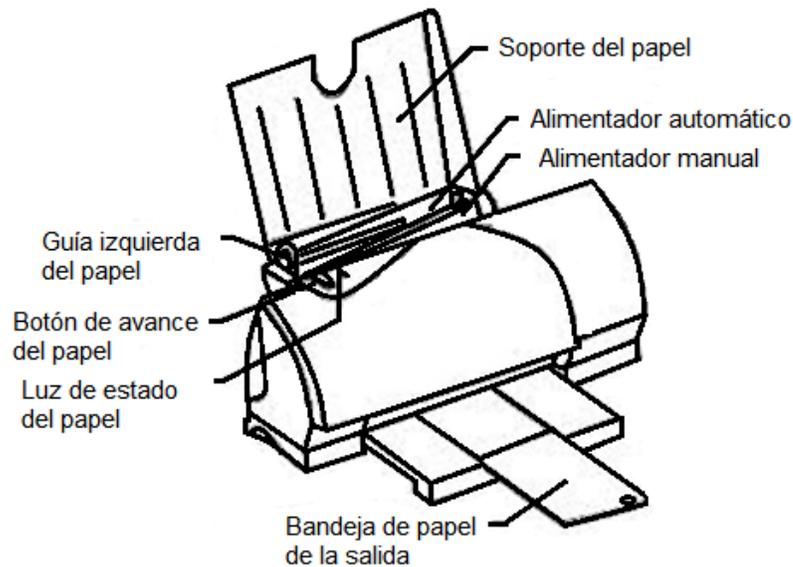
Las impresoras, en general, poseen las siguientes características:

- Velocidad de impresión: representa la capacidad de la impresora para imprimir un determinado número de páginas por minuto, por lo que está expresada en páginas por minuto (ppm).
- Resolución: es la nitidez del texto. Se representa en puntos por pulgada (ppp o dpi).
- Tiempo de calentamiento: es el tiempo el cual la impresora debe esperar antes de realizar la primera impresión. Este tiempo varía dependiendo de la impresora a utilizar, ya que la tecnología de impresión es diferente. La impresora debe alcanzar cierta temperatura para que funcione en forma óptima.
- Memoria integrada: es el lugar donde almacena la impresora los documentos a imprimir. La cola de la impresora es proporcional a la memoria que posee.

- Carga de papel: es el método que rige la carga del papel a la impresora, es decir, la forma o el modo en la cual se almacena el papel. Los principales modos de carga de papel son
  - La bandeja de alimentación: contiene una fuente interna de alimentación de papel.
  - El alimentador de papel: método manual en el cual se insertan las hojas de papel en cantidades necesarias. El alimentador de papel en la parte posterior puede ser:
    - Vertical
    - Horizontal
- Cartuchos: es un contenedor sustituible de la impresora el cual contiene y almacena la tinta. No todos contienen la misma forma y por lo tanto, no son compatibles con todas las impresoras.
- Interfaz: es la manera en la cual se conecta la impresora al ordenador. Las principales interfaces son:
  - USB
  - Paralelo
  - Red: permite compartir varios equipos en una misma impresora

Véase la figura 5, la cual muestra el exterior de una impresora indicando sus partes.

Figura 5. **La impresora y sus partes**



Fuente: PARDO, Fabián. [ensamblefabiansp.blogspot.com](http://ensamblefabiansp.blogspot.com). Consulta: mayo del 2011.

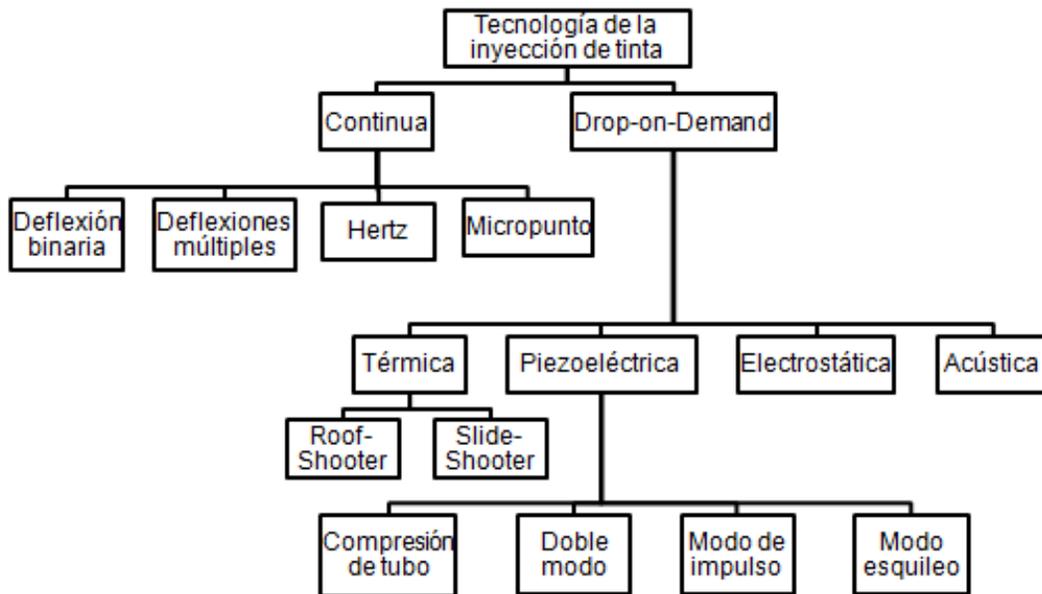
## 2.4. **Tecnologías de impresión**

Es el mecanismo el cual utiliza la impresora para lograr la impresión en un determinado sustrato. Las tecnologías de impresión por inyección de tinta son las que más demanda tienen en la actualidad.

### 2.4.1. **Inyección de tinta**

La inyección de tinta es una tecnología que permite entregar tinta líquida a un medio (sustrato), donde sólo la gota de tinta entra en contacto con el medio. Por lo tanto, este método de impresión no necesita de impulsos o impactos en el sustrato para realizar la impresión. Véase la figura 6.

Figura 6. Diagrama de la tecnología de inyección de tinta



Fuente: FREIRE, E. Mariano. Ink jet printing technology (CIJ/DOD). p. 30.

Existen tres componentes básicos para llevar a cabo la inyección de tinta: el cabezal de impresión, la tinta y el medio.

Las impresoras que utilizan este método tienen una resolución de 300 dpi como mínimo y funcionamiento silencioso. La tinta es impulsada hacia el papel por mecanismos denominados inyector, mediante la aplicación de una carga eléctrica que hace saltar una minúscula gota por cada inyector. Los cartuchos tienen parte o la totalidad del cabezal de esta impresora, por lo que no son económicos. Su funcionamiento se basa en el cabezal, el cual contiene una matriz de orificios por donde se expulsa la tinta. Cuando el microprocesador lo ordena, cada orificio dispara una gota de tinta contra el papel, a través de cables conductores de una cinta plana. Cada orificio es la salida de un microconducto formador de burbujas y gotas de tinta.

Existen dos tecnologías más importantes con las cuales se da la inyección de la tinta: continua y drop-on-demand (ver figura 6). Dichas tecnologías están subdivididas en métodos por los que se da la inyección de la tinta.

#### **2.4.1.1. Inyección de tinta continua**

La inyección de tinta continua (continuous ink jet por sus siglas en inglés CIJ), el chorro de tinta generada por cada boquilla se rompe en gotas después de salir de la boquilla. El rompimiento ocurrirá al azar y las gotas resultarán ser de tamaño variable. Usualmente este problema es corregido proporcionando una excitación periódica a la boquilla en el dominio de tiempo que se traduce en una perturbación espacial en el chorro del líquido. La combinación entre la velocidad de chorro y la frecuencia de excitación determina el tamaño de la gota, la cual puede ser controlada para una mejor precisión.

Tradicionalmente, un transductor piezoeléctrico se junta al cabezal de impresión para proporcionar la excitación periódica. Las oscilaciones, por lo tanto, son de naturaleza mecánica. Al salir de la boquilla, las gotas están eléctricamente cargadas por una cantidad que depende de la imagen a imprimir. Luego las gotas pasan a través de un campo eléctrico el cual las deflacta.

Hay diversos métodos por los cuales se deflactan las gotas en un manejo piezoeléctrico, pero siempre siendo tecnología de tinta continua.

- Deflexión binaria

En este método, las gotas son dirigidas ya sea a una sola ubicación de píxel en el medio o a la alcantarilla de recirculación.

- Deflexiones múltiples

En el método de múltiple deflexión, la desviación es variable, por lo que las gotas pueden abordar varios píxeles.

- Hertz

Es una variación de la tecnología de inyección de tinta en forma continua. Se denomina el método de Hertz, gracias a que el sueco, Dr. Carl H. Hertz, la inventara. En el método de Hertz la cantidad de tinta depositada por píxel es variable. Esto es logrado generando pequeñas gotas del orden de 3 picolitros a una velocidad aproximadamente de 40 metros por segundo con una frecuencia de excitación de más de 1 megahertz.

Las gotas que no llegan al medio o substrato se deflactan hacia la alcantarilla. A las gotas de impresión se les transfiere una carga pequeña para prevenir que se fusionen en el vuelo.

- Micropuntos

Las impresoras matriciales o de agujas son las que hacen el trabajo. El cabezal móvil de impresión está formado por una matriz de agujas de cabeza redonda móviles en conductos del cabezal, que presionan una cinta entintada contra el substrato.

Se le llama matriz porque las agujas están dispuestas en una cuadrícula rectangular.

La forma por la cual se produce el punto en el substrato es por impactos, donde la aguja es impulsada fuera del cabezal por un mecanismo basado en un electroimán, impactando a la cinta entintada y luego retrocediendo a su nivel de reposo debido a la acción de un resorte.

Este tipo de impresoras se puede clasificar, a su vez, en dos tipos:

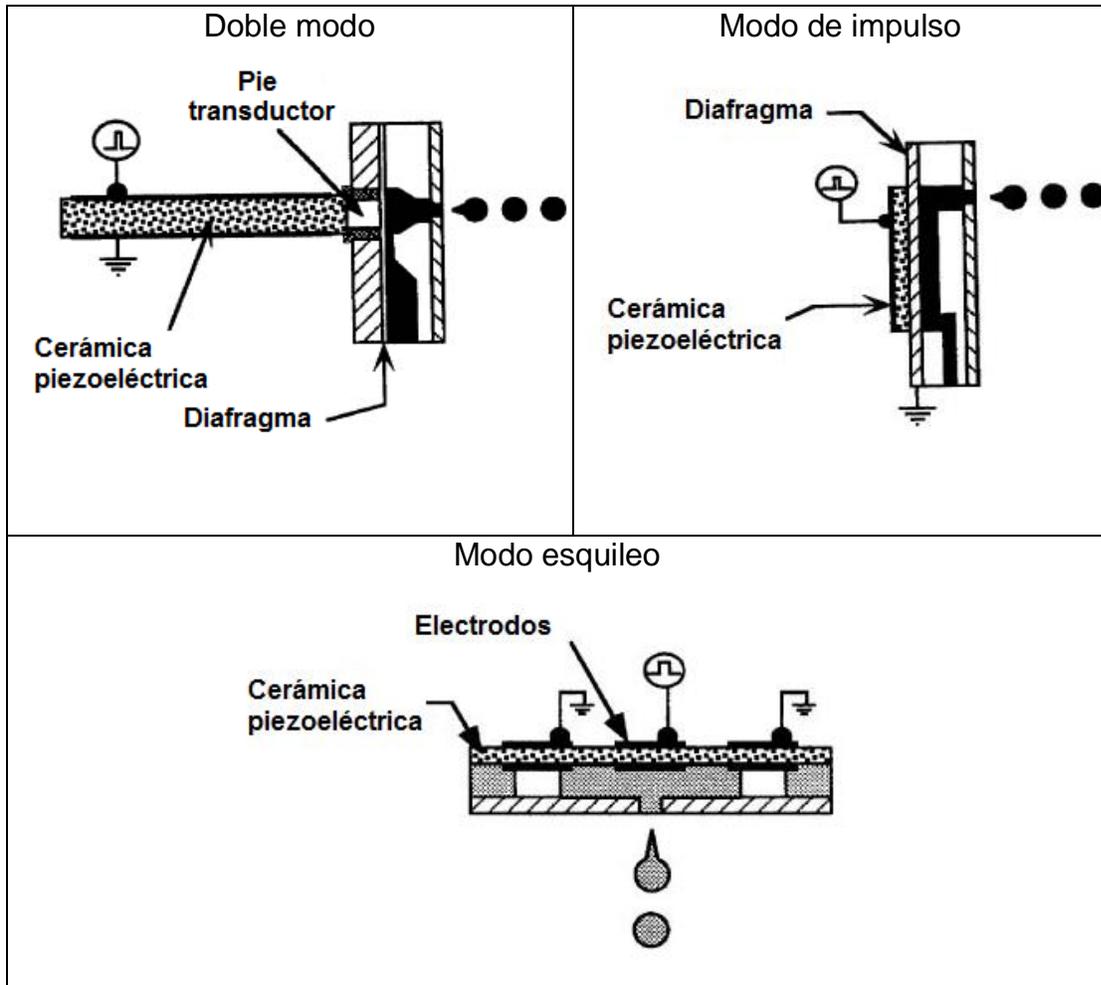
- De alambre balístico: cada punto se produce por una varilla metálica que se impulsa por efecto de la energía magnética almacenada en un electroimán y convertida en energía cinética. Frente a la cinta, se sitúa una placa de zafiro o granate, con agujeros que tiene como función ser guía de la varilla metálica, la cual se denomina pin o cable.
- De energía almacenada o matriciales lineales: son el tipo de impresoras matriciales que imprimen simultáneamente una línea entera de puntos.

#### **2.4.1.2. Drop-on-demand**

- Piezoeléctrica

Son dispositivos en el cual se golpean piezas metálicas piezoeléctricas, generalmente hechos a partir de titanato circonato de plomo (siglas en inglés PZT) y generan energía mecánica. Si este metal piezoeléctrico se intenta deformar, libera energía. Los sistemas piezo expulsan la tinta sin necesidad de aplicar calor. Gracias a este método, la tinta no se calienta, por lo que no hay mecanismos que se deterioren y, descarta la preocupación de la tensión térmica de la tinta (véase la figura 7).

Figura 7. **Tecnología de inyección de tinta piezoeléctrica**



Fuente: extraídas y editadas de Society for imaging Sciences and Technology, [www.imaging.org/ist/resources/tutorials/inkjet.cfm](http://www.imaging.org/ist/resources/tutorials/inkjet.cfm). Consulta: junio del 2011.

El cabezal está formado por miles de inyectoros (microtubos) los cuales se someten a impulsos eléctricos por los elementos piezo en el dorso de dichos inyectoros. Cuando se aplica la corriente eléctrica a los elementos piezo-cerámicos, estos se distorsionan, causando una diferencia de presión, rompiendo la tensión superficial de la tinta y liberando la gota en el sustrato.

La cantidad de tinta absorbida y luego impulsada fuera de las boquillas, puede ser controlada, tal que el cabezal pueda expulsar gotas de tinta en distintos rangos de tamaño, siendo la clave para una impresión de calidad superior. Cada boquilla está equipada con un elemento piezo-cerámico y cada uno de ellos vibra aproximadamente diez mil veces por segundo. Estas vibraciones mantienen la tinta en constante oscilación, impulsándola en la punta de la boquilla hacia adelante y hacia atrás. Al aplicar fuerza a la tinta, esta es succionada en el instante en que el menisco aumenta y la gota del líquido sobresale de la boquilla dejándose caer sobre el papel.

Al optimizar el tiempo de empuje y succión que se aplican al menisco por el elemento piezo, se han diseñado cabezales que producen tamaños de tinta dentro de un cierto rango, independientemente del tamaño de los agujeros de los inyectores. La fuerza aplicada en este método es inversamente proporcional a las gotas de tinta. El volumen de tinta que se expulsa desde un cabezal a una velocidad determinada es mínimo.

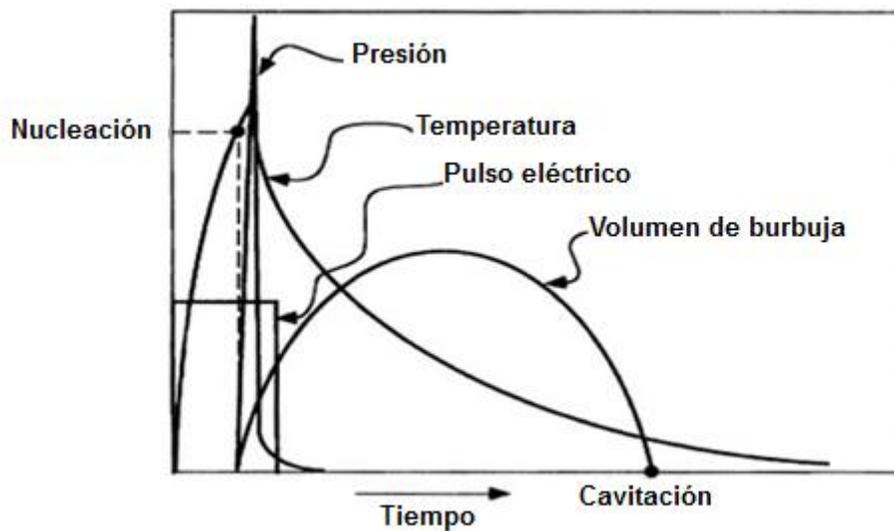
- Inyección por burbujas

El método de inyección por burbujas consiste en calentar el inyector, se genera una burbuja de aire que empuja la tinta, sale la gota, se desconecta la energía y al enfriarse vuelve a llenarse con tinta.

La tinta se sobrecalienta, llegando a su temperatura crítica para la nucleación de burbujas (la nucleación es el comienzo de un cambio de estado en una región pequeña pero estable). Para la tinta a base de agua, esta temperatura es de 300 grados Celsius aproximadamente. Cuando se produce la nucleación, una burbuja de vapor de agua instantáneamente se expande para forzar a la tinta a salir de la boquilla.

Una vez que todo el calor almacenado en la tinta se utiliza, la burbuja comienza a colapsar y al mismo tiempo, la gota de tinta se desprende y se adhiere al papel. Todo el proceso de formación de la burbuja y el colapso se produce en menos de 10 microsegundos. La tinta a continuación, se rellena de nuevo en la cámara y el proceso comienza nuevamente.

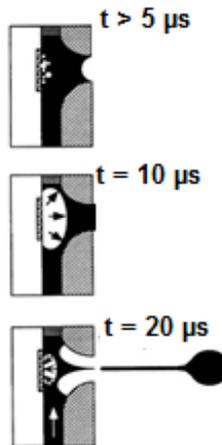
Figura 8. **Gráfica de presión, temperatura y cambio de volumen de burbuja durante el ciclo de formación de la inyección térmica**



Fuente: extraídas y editadas de Society for imaging Sciences and Technology, [www.imaging.org/ist/resources/tutorials/inkjet.cfm](http://www.imaging.org/ist/resources/tutorials/inkjet.cfm). Consulta: junio del 2011.

Dependiendo de la geometría del inyector y de las propiedades físicas de las tintas, el tiempo de recarga de la tinta puede ser desde 80 hasta 200 microsegundos.

Figura 9. **Formación del proceso de la gota**



Fuente: extraídas y editadas de Society for imaging Sciences and Technology, [www.imaging.org/ist/resources/tutorials/inkjet.cfm](http://www.imaging.org/ist/resources/tutorials/inkjet.cfm). Consulta: junio del 2011.

## 2.4.2. **Tecnología digital de textiles**

Breve teoría e historia de la tecnología de impresión utilizada sobre textiles como substrato, desarrollando primeros avances en 1970 gracias a las invenciones de diversas corporaciones internacionales.

### 2.4.2.1. **Impresión digital en alfombras**

En 1970, se desarrolló una impresión de alfombras digital, lanzada en 1975 al mercado. Este dispositivo lanzaba corrientes continuas de tinte de una serie de boquillas a lo largo de todo el ancho de la impresión. Las gotas que no contribuían a impregnarse para formar la imagen en la alfombra, eran deflactadas por una corriente de aire para ser recicladas. Desde luego, las que no se desviaban debido a la acción del aire, se quedaban impregnadas en la alfombra (color blanca originalmente).

Esta tecnología pasó a ser de una simple resolución de 10 puntos por pulgada a una de 70 o más. Hoy en día, la mayoría de alfombras destinadas comercialmente son impresas gracias a la tecnología digital.

#### **2.4.2.2. Sublimación**

En 1970 se desarrolló una impresión de alfombras digital, En 1973, la compañía RPL Supplies Inc., desarrolló un proceso para transferencia de impresión digital de imágenes de video hacia la tela. Este proceso se desarrolló a partir del impacto y sublimación de cintas para su uso personalizado en regalos y productos promocionales.

#### **2.4.2.3. Inyección térmica de tinta e impresión de textiles**

En 1977, la compañía Canon's Endo descubrió el principio de la inyección térmica de tinta cuando accidentalmente se rozó con un soldador la aguja de una jeringa que contenía tinta. Más tarde, Hewlett-Packard desarrolló una tecnología similar. Es por eso que estas dos compañías tienen mucho en común respecto a sus investigaciones, tanto en sus resultados como en la clase de tecnología que utilizan. La única diferencia, es que la Canon denominó su tecnología *bubble jet*, o bien, inyección por burbujas.

A mediados de 1990, Canon desarrolló una impresora de inyección por burbujas para los textiles, que imprimían cerca de 1,6 metros de ancho un substrato textil a velocidad de 1 metro cuadrado por minuto. Pese al gran avance obtenido en este equipo, comercialmente fue un fracaso debido a la capacidad de producción mínima, pero se demostró un nuevo proceso de diseño, impresión y proceso digital de textiles que otras compañías siguieron.

## **2.5. Tintas para impresora**

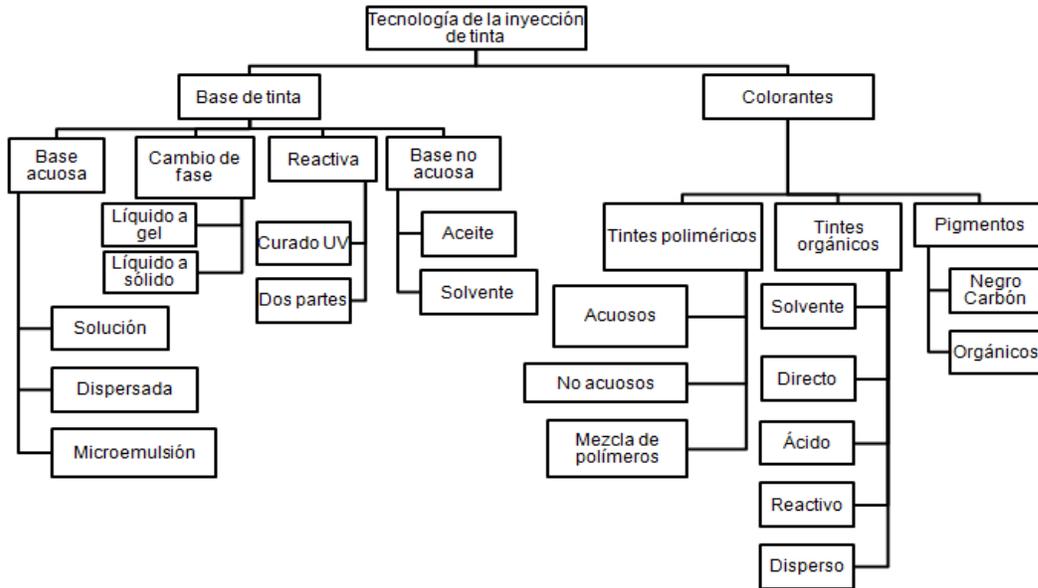
Una tinta es una mezcla de un conjunto de materiales como el colorante, resinas, disolventes y aditivos, la cual tiene como finalidad reproducir imágenes sobre un soporte (generalmente papel) mediante un proceso de impresión.

### **2.5.1. Tecnología de tintas para impresora por inyección**

Debido a la complejidad natural de las tintas de impresoras respecto al medio que las rodea, la preparación de estas es muy complicada. En adición con los requerimientos convencionales, tal como su vida útil y propiedades colorativas, la tinta debe tener propiedades fisicoquímicas específicas. Por ejemplo, la tensión superficial y la viscosidad deben estar en un rango aceptable para el buen funcionamiento de la impresión.

Para las impresiones que utilizan el método piezoeléctrico en el cabezal del cartucho, la viscosidad debe estar en el rango de 8 a 15 centipoises, mientras que los cabezales termales deben tener viscosidad alrededor de 3 centipoises.

Figura 10. **Tecnología de tintas para impresora por inyección**



Fuente: mapa traducido de Society for imaging Sciences and Technology, [imaging.org/ist/resources/tutorials/inkjet.cfm](http://imaging.org/ist/resources/tutorials/inkjet.cfm). Consulta: junio del 2011.

### 2.5.1.1. Preparación de la tinta y composición

La función principal de la tinta es que tomen lugar las moléculas funcionales en el substrato (papel), una vez haya sido inyectada desde el cabezal del cartucho. Dichas moléculas funcionales pueden ser colorantes (pigmentos o tintes). Generalmente, la tinta debe tener una viscosidad debajo de 25 centipoises.

Las tintas para impresora están formadas también por el vehículo, el cual es el medio donde se encuentra disuelto el colorante o disperso el pigmento. Este se encarga de transportar la materia colorante desde el tintero de la máquina de imprimir hasta el soporte.

El vehículo está compuesto de sustancias líquidas (por ejemplo agua, solventes orgánicos y monómeros), aditivos los cuales traen funciones específicas (surfactante, preservativo) y usualmente un polímero que establezca la conexión con las moléculas funcionales (colorantes, partículas conductivas) al substrato después de haber imprimido. Cuando la tinta entra en contacto con el substrato, el vehículo actúa como agente filmógeno, es decir, fija definitivamente el colorante o pigmento sobre el soporte mediante procesos que constituyen el secado.

Típicamente, la preparación de la tinta está basado en la formación de un barniz, que es el líquido que contiene a la mayoría de los componentes de la tinta (los aditivos y el aglutinante polimérico), mezclado con las moléculas funcionales, los cuales son insolubles (pigmentos) o solubles (colorantes) en fase líquida.

La selección de los varios componentes del vehículo está determinada de acuerdo a la tecnología de impresión (térmica o piezoeléctrica).

Las tintas están compuestas por:

- Sustancias colorantes
  - Colorantes: sustancias solubles en el vehículo.
  - Pigmentos: sustancias que no son solubles en el vehículo, pero se encuentran dispersas en él en forma de partículas finas.
  
- Vehículos
  - Aceites secantes
    - Aceites secantes: aceite de linaza y de rizino.
    - Aceites minerales: procedentes de la destilación del petróleo.

- Resinas
  - ✓ Naturales: pino
  - ✓ Sintética
- Disolventes orgánicos: benceno y alcohol.
- Aditivos: para acelerar el proceso de secado y evitar malos olores.

El tamaño de la partícula afecta la calidad de imagen, especialmente la densidad de color. Si son pigmentos, las partículas grandes son probablemente buenas para el agarre, aportando una densidad de color alta, mientras que partículas pequeñas son mejores en términos del uso efectivo para la absorción de luz de las partículas de pigmento.

Inclusive, partículas por debajo de los 0,05 micrómetros pueden también tener efectos desfavorables en su estabilidad y en la confianza de inyección, porque las pequeñas partículas tienen una mayor superficie en relación al volumen y por lo tanto, una mayor demanda de dispersante; al mismo tiempo, la superficie por partícula es más pequeña, por lo tanto, el potencial zeta o la densidad de carga es igual.

Las partículas pequeñas tienen menos carga total por partícula y la barrera de repulsión es menor que las partículas grandes; a su vez pueden ser menos estables. También pueden proporcionar alta probabilidad de obstrucción debido a la congestión de las partículas.

### **2.5.1.2. La tinta durante su almacenamiento**

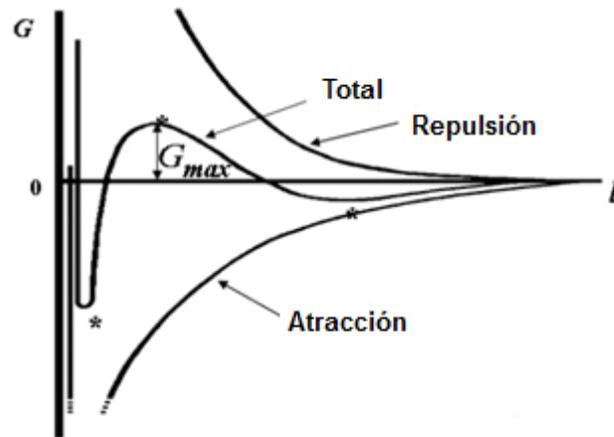
Una vez preparada la tinta, se caracteriza fisicoquímicamente. Todas las propiedades de la tinta deberían permanecer constantes en un tiempo prolongado (su vida útil), el cual básicamente es de 2 años.

- Estabilidad de la tinta

Se refiere a que la tinta debe tener todas sus propiedades constantes en un tiempo prolongado. En muchos casos, para las tintas que no contienen materiales sin disolver, su inestabilidad puede ser causada por interacciones entre los componentes de la tinta, tal como la precipitación y la separación de fases debido a cambios en la solubilidad.

Para las tintas que contengan pigmentos, el problema más común es la aglomeración de las partículas del pigmento debido a la inestabilidad inherente de los sistemas más dispersos. Cuando las partículas se acercan unas con otras, toma lugar la interacción entre moléculas debido a las fuerzas de Van der Waals, causando la aglomeración y eventualmente alcanzan la energía potencial mínima. Para prevenir la aglomeración, se requirió de un mecanismo, superando este problema: la repulsión eléctrica (véase la figura 11). Esta puede ser obtenida si la superficie de las partículas del pigmento poseen cargas eléctricas.

Figura 11. **Repulsión eléctrica**



Fuente: MAGDASSI, Shlomo. Ink Requirements and Formulations Guidelines. p. 23.

La estabilización depende de varios parámetros tales como el potencial zeta de las partículas, la concentración y valencia de los iones presentes en la solución y la constante dieléctrica de la solución en la cual las partículas están dispersas. La estabilidad electrostática es efectiva en sistemas que tienen una constante dieléctrica alta y por tanto, es muy importante para las tintas a base de agua.

- **Viscosidad**

La viscosidad de la tinta es de gran importancia para su rendimiento durante la impresión y difusión en el substrato, siendo afectada por diversos parámetros, entre los cuales sobresalen la presencia y concentración de los aditivos poliméricos, surfactantes, la composición del solvente y la floculación.

La mayoría de las tintas para impresoras por inyección son fluidos Newtonianos. Su viscosidad no varía y usualmente se encuentra debajo de los 20 centipoises y para los cabezales que son sometidos a la inyección por burbujas, la viscosidad está por debajo de los 3 centipoises.

- Tensión superficial

La tensión superficial es el factor primario que determina la formación de la gota durante la impresión y la difusión en el substrato. Esta puede ser controlada seleccionando adecuadamente los componentes del solvente y mediante la agregación de surfactantes.

Un surfactante se utiliza usualmente a concentraciones bajas, en ocasiones debajo del 1% en peso y hasta por debajo del 0,1% en peso. Esto significa que un leve cambio en la concentración del surfactante puede causar cambios significativos en el rendimiento de la tinta.

El valor de la tensión superficial de la tinta depende de las condiciones del medio. Si el medio se encuentra a determinada temperatura y presión, la tinta se encontrará en equilibrio y por tanto el valor de la tensión superficial a esas condiciones será la del equilibrio.

- Propiedades dieléctricas y conductivas

Estas propiedades son esenciales para tintas de inyección continua, en donde las gotas son desviadas debido a un campo eléctrico. La capacidad de carga es obtenida agregando agentes que controlen dichas cargas, tales como electrolitos y tenso activos iónicos, siempre que sean solubles en el medio de la tinta.

La conductividad puede variar debido a la precipitación de una sal, interacciones con otros componentes, la pared del contenedor, etcétera.

La conductividad de la tinta también es importante para sistemas de impresión en los cuales los sensores de recirculación de la tinta son activados por señales de conductividad obtenidas por el contacto del sensor con la tinta.

- Contenido de colorantes o pigmentos

La función principal de cualquier tinta es adherirse a algún sustrato y hacer resaltar el colorante. Si el colorante está formado por una molécula o combinación de varias moléculas, este debería estar presente a una concentración muy por debajo de su límite de solubilidad. De otro modo, si existen variaciones de temperatura, pH, etcétera, durante su almacenamiento, podrían ser causa de precipitación.

En tales tintas es necesario determinar la solubilidad del colorante en presencia de todos los componentes, especialmente a bajas temperaturas. Las propiedades ópticas del colorante también son afectadas por variaciones insignificantes de pH y con la presencia de electrolitos (en tintas con base de agua), la polaridad del medio y presencia de surfactantes. Es por eso, que las propiedades ópticas en las tintas deben ser evaluadas.

Generalmente, las tintas que contienen colorantes son más estables que las tintas pigmentadas, dado que contienen mejor estabilidad fisicoquímica ya que todos los componentes se disuelven en una solución. En cambio las tintas pigmentadas sólo se encuentran estables cinéticamente. Las tintas comunes contienen concentraciones del pigmento por debajo del 10% en peso para satisfacer la densidad óptica requerida.

El principal problema relacionado al comportamiento del grosor del pigmento en la tinta es la posibilidad de sedimentación, lo que causará un decaimiento en la densidad óptica luego de imprimir, obstruyendo de esta forma los cabezales durante la inyección de tinta. Si la sedimentación es irreversible, la tinta no podrá ser utilizada, a menos que sea reprocesada, pero si es reversible, con el hecho de mezclar la tinta y agitarla puede ser suficiente.

- Espumantes y antiespumantes

Uno de los principales problemas de la tinta durante su almacenamiento es la formación de burbujas. Es común observar la formación de espuma cuando la tinta contiene surfactantes y polímeros. La solución a este problema es la adición de un antiespumante, el cual es una molécula que causa el desglose de la espuma presente. Los antiespumantes actúan de diversas formas:

- Reduciendo la tensión superficial en un área específica, lo cual causa rápidamente una disminución en la capa de la tinta (ejemplo: alcohol amílico).
- Promoviendo el drenaje del líquido de las laminillas (ejemplo: tributil fosfato, que reduce la viscosidad en la superficie).

### **2.5.1.3. Rendimiento de la tinta en el cabezal**

Las propiedades fisicoquímicas son determinantes para el cabezal específico a utilizar. Sin embargo, la tinta debe evaluarse al ser inyectada y de esta forma, asegurar el rendimiento máximo de la tinta en el cabezal de la impresora.

Para lograr dichas evaluaciones, se cuenta con técnicas que son fundamentales para garantizar el buen rendimiento de la tinta al ser inyectada, desde el punto de vista de la formulación.

- Latencia y caída

Latencia se denomina al tiempo en que la tinta puede esperar con éxito en la boquilla sin echar a chorro.

Este período de tiempo varía de unos segundos a minutos en métodos drop-on-demand comerciales de tinta a base de agua y solventes. Cabe mencionar, que cuando la tinta alcanza las boquillas previamente a la inyección, los componentes volátiles se evaporan desde la boquilla. Esta disparidad causa diferencias en las propiedades fisicoquímicas de la tinta (incremento en la viscosidad o decrecimiento en la tensión superficial), que resulten desplazar las propiedades requeridas para la inyección.

Al suceder una evaporación, por insignificante que sea, de los solventes en la boquilla, se excederá la solubilidad de algunos de los componentes, los cuales luego de un determinado tiempo, comenzarán a precipitar. El mismo problema sucede con las tintas pigmentadas, cuyas moléculas se precipitan al incrementar la concentración del pigmento. Si la solubilidad de los componentes o la estabilidad del pigmento dependen del pH, las tintas que estén hechas por componentes básicos (agregando una amina volátil) su evaporación causaría un decaimiento en el pH, seguido por una formación de costras.

Para obtener una buena latencia en la caída de la tinta, las herramientas en la formulación de la tinta son aquellas que hagan decrecer la evaporación en la boquilla y formen una tinta menos vulnerable a la evaporación del solvente. Los casos a presentarse son:

- Para tintas que contengan como base un solvente: utilizar solventes con punto de ebullición alto.
- Para tintas que contengan como base agua: agregar cosolventes capaces de retrasar la pérdida de agua por hidratación. Los cosolventes típicos son los glicoles, tales como, el dietilenglicol, polietilenglicol y propilenglicol metil éter. Estos aditivos se denominan humectantes.
- Para tintas que contengan como base agua y solvente: maximizar la solubilidad de los sólidos en el líquido seleccionando la composición del solvente y cosolvente (N-metil pirrolidona para tintas con base de agua) que hace posible la disolución aún después de que una fracción del líquido se haya evaporado.
- Para tintas sensibles al pH (requerida una solubilidad alta o potencial zeta alto): utilizar un agente que controle el pH y no sea volátil. Por ejemplo, en las tintas que requieran un pH alto para la disolución de un polímero acrílico, utilizar una amina que contenga punto de ebullición alto.
- Para tintas que contengan pigmentos: seleccionar estabilizadores poliméricos que mantengan la viscosidad baja aunque la carga de pigmento sea alto.

- Para tintas que contengan agentes aglutinantes poliméricos y controladores reológicos (reología es la ciencia del flujo que estudia la deformación de un cuerpo sometido a esfuerzos externos. Como objetivo tiene que estudiar los fluidos no newtonianos): seleccionar aquellos agentes en los cuales la viscosidad de la solución sea menos susceptible a los cambios en el pH o a la concentración del polímero.

- Recuperabilidad

Es una prueba realizada en la práctica mediante la medición de la cantidad de tinta que ha de ser expulsada hasta que se habilita el proceso de inyección. El formulador de la tinta debe asegurarse de que la tinta tiene la capacidad de disolver las costras que se precipiten en la boquilla, mismas de la tinta.

Esta prueba también se realiza en los laboratorios al secar una pequeña muestra de tinta y evaluar qué tan rápido la tinta vuelve a obtener sus propiedades originales con la adición de tinta fresca.

- Formación de la gota

La formación de la gota es probablemente el problema de rendimiento más importante, ya que afecta en general todo el proceso de impresión. La estabilidad del chorro y el comportamiento respecto a las propiedades del fluido se estiman y se conocen gracias a la teoría de Rayleigh y las ecuaciones de Navier-Stokes. Las simulaciones por computadora han demostrado y predicho el proceso de inyección de la tinta en cabezales específicos al imprimir, estableciendo metodologías en la selección de los aditivos para las tintas.

La inyección resulta de la presión que se ejerce a la tinta (por materiales piezoeléctricos o por presión de burbuja) a través de las boquillas de diámetro micro. El fluido eyectado fluye a través de la boquilla con un *momentum* específico regido por la energía cinética de la gota.

En condiciones óptimas, este fluido, el cual es una tinta formada por componentes específicos y aditivos los cuales le dan característica fisicoquímica propia, posee una cola de desprendimiento (ligamento), que subsecuentemente forma una gota debido a los efectos de la tensión superficial, justificando que el espacio entre la boquilla y el sustrato es suficiente.

Los principales parámetros que gobiernan el proceso de inyección son la tensión superficial y las propiedades reológicas de la tinta. Dependiendo del cabezal de impresión, las tintas comúnmente poseen tensiones superficiales en el rango de 25 a 50 dinas por centímetro, y viscosidad de 1 a 25 centipoises. La relación de estos parámetros, en conjunto con la densidad de la tinta y el diámetro de la boquilla, estiman los parámetros de la operación en función de los números adimensionales: el número de Reynolds, de Weber y el parámetro combinado que es el número de Ohnesorge.

- Compatibilidad de los materiales

La selección de los materiales de la tinta debe considerar la compatibilidad de cada componente de la tinta con la construcción del material con el que se va a interactuar. Estos materiales pueden ser muy diferentes, desde las partes metálicas (orificio de la placa, sensores, filtros, accesorios, etcétera) los cuales pueden degradarse por contactos de tintas de alto o bajo pH, hasta las partes plásticas que pueden disolverse o hincharse por contacto de los solventes orgánicos o monómeros UV.

Usualmente se realizan evaluaciones, individualmente, de las partes que conforman el cartucho con la tinta que se va a almacenar, en un tiempo determinado y a condiciones superiores de las normales. Esto con el objetivo de analizar la deterioración y el rendimiento de los materiales.

#### **2.5.1.4. El impacto de las gotas de la tinta**

El impacto de la tinta al salir del cabezal y la conversión de la gota en una capa fina de tinta, depende de las propiedades fisicoquímicas tanto de la tinta como del sustrato. El comportamiento de la gota de tinta en el sustrato depende de la humectación en el sustrato y de la fluidez de la tinta durante el proceso de humectación.

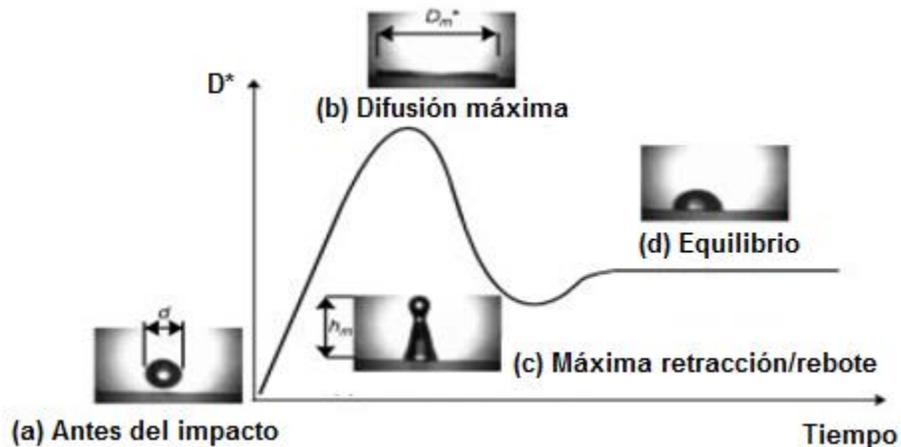
Los parámetros fisicoquímicos se combinan para establecer los números adimensionales de Reynolds, Weber y el ángulo de contacto que la gota forma en el sustrato al equilibrio. A un número de Reynolds alto, la gota rebotará o salpicará. Recientemente, los resultados experimentales de Range y Feuillebois (1998) indicaron que los números adimensionales de Ohnesorge y Reynolds, los cuales contienen la viscosidad involucrada, no son importantes y pueden ser despreciables en el fenómeno de salpicadura.

En el 2002, Clarke et al., encontraron que para una impresión por inyección típica, la salpicadura no ocurrirá si se utiliza una superficie de sustrato suave. Por esa razón es que este fenómeno para este caso es netamente despreciado.

- Impacto en superficies suaves

Desde que la calidad de imprimir se refiere a la manera en la cual se difunde la gota de la tinta cuando impacta en el sustrato, la dinámica del impacto es de mucha importancia en la impresión por inyección de tinta. El parámetro que se sigue durante el impacto en este caso es el de la relación de difusión,  $D^* = D/d$ , donde  $D$  es el diámetro de contacto y  $d$  es el diámetro de la gota antes del impacto. La variación de  $D^*$  durante el tiempo de impacto se ilustra a continuación:

Figura 12. Esquema del impacto de gota en superficie suave



Fuente: MORRIS, J. F. Drop formation and impaction. p. 59.

- Difusión y humectación

Para obtener una humectación y difusión espontánea (punto grande), la tinta debe tener una tensión superficial por debajo de la energía de tensión superficial del sustrato.

Por ejemplo, para superficies que tengan bajo nivel de energía como el polietileno, la tensión superficial de la tinta ha de estar debajo de los 28 ergios por centímetro cuadrado, siempre y cuando se desee tener un punto grande en el sustrato. Si por el contrario, se desean puntos pequeños al imprimir en el sustrato (para mejor resolución) la tensión superficial debe ser mayor que el caso anterior.

- **Fluidez**

La difusión de la gota de tinta en el sustrato depende en gran medida de la capacidad de fluidez en el mismo. Una tinta de alta viscosidad conducirá a producir puntos más pequeños en comparación de una tinta que contenga baja viscosidad. La difusión usualmente se frena cuando la viscosidad es muy alta.

En tintas que estén realizadas a base de solvente o agua, la difusión se puede eventualmente frenar debido a la evaporación de los líquidos, especialmente en la película fina que se encuentra en la parte externa del punto, lo que conduce a un aumento en la viscosidad.

### **2.5.1.5. Proceso de coloración**

La impresión por inyección de tinta digital en las industrias es similar a la impresión por inyección de tinta utilizada en muchas computadoras para imprimir en papel. La impresión por inyección se puede definir como un proceso por el cual, el patrón deseado con sus colores individuales, es construido proyectando pequeñas gotas de tinta de diferentes colores, en un predeterminado micromatriz sobre la superficie del sustrato, cada uno de esos matrices representa una pintura elemental (píxel) del diseño.

Usualmente se utiliza un set de tintas que consiste al menos de tres colores primarios, llamados cyan, magenta, amarillo y opcionalmente negro, por lo que estas tintas toman el nombre de CMYK. La proporción de cada uno de estos colores primarios en un área determinada de impresión, determina la percepción general del color en particular de la región.

Es esencial dar a conocer que la tecnología de impresión por inyección de tinta es fundamentalmente diferente de todas las técnicas de impresión de textiles, no sólo por el mecanismo que se vive en el cabezal y el contacto, sino también en el medio por el cual los colores del diseño se producen.

- Píxel y la formación de imagen

Se sigue la misma secuencia en la formación de la pequeña gota de tinta producida por las impresoras de inyección térmica o de pulsos mecánicos, formando las gotas un punto aproximadamente circular cuando aterrizan en la superficie del sustrato.

A la salida del chorro de tinta de la boquilla, inicialmente tiende a formar una cola. Idealmente estas colapsan en la cabeza de la gota principal, convirtiéndola en esférica antes del contacto con el sustrato. Si la aplicación de conducción del pulso es demasiado fuerte, la cola puede ser tan larga que las gotas se romperían de otra forma.

El volumen de las gotas varía considerablemente, pero típicamente se encuentran en el rango de 5 a 10 picolitros, dependiendo del diseño del cabezal de impresión y la naturaleza de la conducción de los pulsos eléctricos.

Cada píxel de cualquier diseño siendo impreso por inyección, está compuesto actualmente de múltiples gotitas depositadas en el sustrato como un grupo ordenado llamado un superpíxel, usualmente en las bases ya sea en una matriz de 4x4, 6x6 o de 8x8 y cada una de las gotas de tinta coloreada se pueden dirigir en estas matrices. Configuraciones en forma de matrices hexagonales también pueden ser usadas en algunas impresoras. Las impresoras más sofisticadas térmicas y tipo piezo, pueden producir efectos de semitono proyectando múltiples gotas de tinta en cada ubicación del superpíxel.

- Gestión del color

Los colores que se ven en el monitor del computador comparado con el color que resulta de la imagen que se imprime, frecuentemente poseen guías pobres: la saturación del color y la calidad de la imagen decae considerablemente. Una de las razones básicas que atrae este problema radica en el hecho de que en cada uno de los procesos físicos complejos involucran la percepción, captura, visualización y reproducción de la variedad de colores, por consiguiente la dificultad en conseguir un resultado que es consistentemente aceptable para el espectador.

- La visión del observador

La luz (reflejada desde un patrón impreso o transmitida desde el monitor) se concentra en la retina la cual manda respuestas eléctricas al cerebro desde receptores de cono rojo, verde y azul, aunque hoy en día es más correcto referirse a conos que tienen respuesta a larga, mediana y corta radiación de longitud de onda.

- Captura de la imagen digital

La imagen es capturada como una serie de celdas de respuesta RGB (por su significado en el inglés *red, green, blue*, en español rojo, verde y azul) formando una matriz (cámara digital) o un patrón de trama (scanner).

- Impresora de color digital

Utiliza tinta para impresora primaria CMYK la cual, en la mayoría de las impresoras digitales, es inyectada por gotas en el sustrato como una matriz superpíxel.

- Especificaciones numéricas del color

Al procesar los datos de color se suelen calcular con 8 bits por canal aún cuando los colores pudieron haber sido medidos con 16 bits por canal. Por lo tanto, con 8 bits cada uno para RGB (color de 24 bits) y CMYK (color de 32 bits) hay 256 niveles de gris de cada primario. Esto deja una probabilidad de 16,7 millones (224) colores, pero la vista humana no puede de hecho distinguir las diferencias entre todos esos colores.

Las relaciones simples entre el RGB y el CMYK en términos de su valor digital son:

$$R = 255 - C \quad G = 255 - M \quad B = 255 - Y$$

Por lo tanto, R, G y B = 0 y C, M y Y (o K) = 255 representan negro e invirtiendo estos valores da como resultado blanco o, en una impresión, el color del sustrato.

Tal como una simple transición de los valores RGB de los colores en un diseño el cual ha sido capturado por un scanner en valores de CMY para una imagen impresa debería, sin embargo, producir una reproducción insatisfactoria de los tonos de la imagen original, debido a las variaciones en las características de la reproducción del color que siempre existen entre el dispositivo de entrada y salida.

### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Definición de las variables en el estudio de factibilidad técnica

Se determinaron las variables que se presentaron de manera directa e indirecta en el proceso de formulación, las variables que se modificaron como también las que se mantuvieron constantes y que conjuntamente influyeron en los resultados.

Tabla I. Variables de la factibilidad técnica de la tinta

Variables	Indep.	Dep.	Ctes.	No ctes.	Resp.
Proporción colorantes naturales – agua	X		X		
Concentración		X		X	
Tiempo de secado		X	X		
Presión	X			X	
Temperatura	X			X	
Viscosidad		X		X	
Densidad		X		X	
Tensión superficial		X		X	
Temperatura de ebullición		X		X	
Prueba de impresión		X	X		X
Intensidad de color		X	X		

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Variables manipuladas**

Variables	Dimensional	Rango de Variación
Proporción colorantes naturales – agua	g	50 – 250
Temperatura	°C	5 – 45

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Variables de las propiedades y características**

Variables	Dimensional
Concentración	M
Tiempo de secado	S
Viscosidad	cP
Densidad	g/mL
Tensión superficial	dina/cm
Temperatura de ebullición	°C
Intensidad de color	%

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. **Delimitación del campo de estudio**

Consta del tratamiento de la materia prima utilizada y el procedimiento experimental que sufrió dicha materia prima para la elaboración de las tintas de impresora de inyección por burbuja.

### **3.2.1. Tratamiento de materia prima**

La materia prima que fue la hoja tinta, palo de Campeche y el bagazo de caña de azúcar, se obtuvieron de los mercados nacionales que comercializan con productos naturales. Los aditivos de la tinta para impresora, que fueron el alcohol isopropílico, agua destilada, monoetilenglicol, formol y glicerina se obtuvieron de distribuidoras nacionales que comercian químicos para la industria.

Se llevó a cabo, como método de formulación, la operación unitaria de calentamiento – enfriamiento y filtración, realizando cinco combinaciones en agua con la mezcla de los tres colorantes naturales (hoja tinta, palo de Campeche y combustión de bagazo de la caña de azúcar). Luego se mezcló con los aditivos correspondientes a la tinta comercial. Como resultado, se obtuvo 5 tintas de impresora que fueron el objeto de tratamiento y comparación con la tinta formulada utilizando el colorante Corax P y con la tinta química comercial.

### **3.2.2. Procedimiento experimental**

Se calentó por 15 minutos hasta una temperatura determinada el agua destilada en conjunto con una proporción definida de hoja tinta – palo de Campeche – combustión de bagazo de caña de azúcar. La transferencia de calor y de masa para homogenizar la solución con el colorante fue mayor al agitar la solución. Se dejó enfriar la mezcla hasta temperatura ambiente y se almacenó en un recipiente tapado por 24 horas. Se procedió a agregar los aditivos mencionados: alcohol isopropílico, monoetilenglicol y glicerina.

Se mezcló energéticamente durante un tiempo determinado de minutos y se procedió a filtrar la sustancia a un tamaño de poro 20 y 2,5 micrómetros. Por último se agregó el formol.

Figura 13. **Equipo para la elaboración de la tinta**



Fuente: Laboratorios OSSALUD S.A. [www.ossalud.com](http://www.ossalud.com). Consulta: mayo del 2011.

### **3.2.3. Preparación de los colorantes naturales**

Se realizó una molienda por separado de la materia prima para los tres colorantes naturales utilizados (hoja tinta, palo de Campeche y combustión de caña de azúcar), por medio de un mortero y pistilo, para que la transferencia de masa fuera mayor.

### **3.2.4. Operaciones unitarias en el proceso**

El procedimiento que se llevó a cabo para formular la tinta de impresora a partir de los colorantes naturales, es el mismo procedimiento utilizado en la fabricación de tinta comercial.

El equipo donde se llevó a cabo las operaciones unitarias del proceso fue a nivel laboratorio:

- Un *beacker* el cual obtuvo la mezcla, simulando este al reactor batch utilizado normalmente en las industrias.
- Una plancha, la cual generó la energía térmica necesaria para llevar la mezcla de agua – materia prima hasta que obtuviera alta temperatura.
- Termómetro con una escala de -10 a 110 grados Celsius utilizado para medir la temperatura en el proceso.
- Una varilla de agitación que se utilizó para mezclar constantemente durante el proceso de calentamiento, el agua junto a la materia prima, creando alta transferencia de calor y masa.
- La filtración se realizó mediante un filtro de tamaño de 20 micras para remover las partículas más grandes y uno de tamaño de 2,5 micras que se encargó de dejar la tinta a un nivel fino para evitar tapar los cabezales del cartucho de la impresora.

### **3.2.5. Manejo de productos y residuos**

A la tinta formulada a partir de los colorantes naturales (producto), se le agregó formaldehído como aditivo para que tuviera vida útil de 2 años. Es por eso que se agregaron los aditivos, para que tuviera las propiedades fundamentales de las tintas comerciales y su durabilidad. Esta tinta, luego de caracterizadas sus propiedades físicas y químicas, se agregó a los cartuchos, para que pudiera ser utilizada para imprimir documentos.

Los residuos en la investigación, como los sobrantes de materia prima y aditivos, se reutilizaron para volver a hacer tinta o para alguna otra investigación. El retentato de la filtración se depositó en la basura.

### 3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador

Nombre:	Ronny González Guay
Correo electrónico:	Guayo199@hotmail.com
Fecha de nacimiento:	9 de noviembre de 1988
Nacionalidad:	guatemalteco
Profesión:	estudiante de Ingeniería Química Universidad de San Carlos de Guatemala

- Asesor

Nombre:	Federico G. Salazar R.
Correo electrónico:	correo@fgsalazar.net
Fecha de nacimiento:	5 de febrero de 1948
Nacionalidad:	guatemalteco
Profesión:	ingeniero químico colegiado no. 201

### **3.4. Recursos físicos y materiales disponibles**

A continuación se detallan específicamente los recursos disponibles para la investigación que se realizó a nivel laboratorio, describiendo las propiedades fisicoquímicas para cada reactivo.

#### **3.4.1. Recursos físicos disponibles**

La parte experimental de la investigación se llevó a cabo en el laboratorio de la empresa llamada POLCHEMICAL, ubicada en la 6ª. Avenida 26-71 zona 8 de Mixco Valle Dorado, Ciudad San Cristóbal. Este laboratorio contenía los instrumentos esenciales para llevar a cabo la formulación de la tinta a base de colorantes naturales y para determinar sus propiedades fisicoquímicas.

Se determinó la concentración y la viscosidad en el laboratorio de Bayer CropScience de Guatemala, planta Amatitlán. El encargado fue el jefe de laboratorio de control de calidad, Ing. Qco. Federico Fuentes.

Por otra parte, se realizó el modelo de prueba de impresión utilizando una impresora de inyección por burbujas ubicada en la residencia domiciliar 23 calle proyecto 4-10 de la zona 6.

#### **3.4.2. Recursos materiales disponibles**

En la siguiente página se detallan los materiales utilizados para realizar las formulaciones de las tintas, tanto las sustancias como el equipo de laboratorio.

### 3.4.2.1. Materia prima

- Palo de Campeche
- Hoja tinta
- Residuos de combustión de bagazo de caña de azúcar

### 3.4.2.2. Reactivos

- Alcohol Isopropílico
  - Fórmula química:  $C_3H_8O$
  - Peso molecular: 60,09 g/mol
  - Punto de ebullición: 82,4 °C
  - Punto de fusión: -87,9 °C
  - Densidad relativa (agua = 1): 786,3 a 20 °C
  - Viscosidad: 2,86 cP a 15 °C, 2,08 cP a 25 °C, 1,77 cP a 30 °C
- Formol
  - Fórmula química:  $CH_2O$
  - Peso molecular: 30,03 g/mol
  - Punto de ebullición: -21 °C
  - Punto de fusión: -92 °C
  - Densidad relativa (agua = 1): 820 kg/m<sup>3</sup>
  - Viscosidad: 1,5 Pa s
- Glicerina
  - Fórmula química:  $C_3H_8O_3$
  - Peso molecular: 92,11 g/mol
  - Punto de ebullición: 289,85 °C
  - Punto de fusión: 17,85 °C

- Densidad relativa (agua = 1): 1261 a 20 °C
- Viscosidad: 1,5 Pa s
- Monoetilenglicol
  - Fórmula química:  $C_2H_6O_2$
  - Peso molecular: 62,08 g/mol
  - Punto de ebullición: 196 - 198 °C
  - Punto de fusión: -13 °C
  - Densidad relativa del vapor (aire = 1): 2,1
  - Viscosidad: 21 cP
  - Gravedad específica (agua = 1): 1,15 a 20 °C
  - Presión de vapor (mm Hg): 0,05 a 20 °C

### 3.4.2.3. Cristalería

- Beakers
- Balones aforados
- Probetas
- Pipetas
- Picnómetros
- Termómetros
- Varillas de agitación
- Mortero y pistilo
- Tubos de ensayo
- Embudo de filtración
- Embudos
- Goteros
- Tubos capilares

#### **3.4.2.4. Equipo**

- Plancha de calentamiento
- Balanza
- Campana de extracción
- Cronómetro
- Viscosímetro de Ostwald
- Espectrofotómetro
- Impresora de inyección por burbujas
  - Marca: Canon IP 1600

#### **3.4.2.5. Otros materiales**

- Filtros de 2,5 y 20 micras
- Hojas de papel bond
- Hojas milimetradas
- Cartuchos de impresora
  - Marca: Canon, del tipo PG 40
- Jeringas
- Taladro
- Cinta adhesiva

### 3.5. Técnica cuantitativa y cualitativa

En esta sección se muestra en detalle la experimentación general de la investigación. La prueba de impresión de las tintas a partir de colorantes naturales y de la tinta comercial, como también la determinación RGB de las pruebas de impresión fueron las únicas técnicas cualitativas en el estudio.

Tabla IV. **Variables de las propiedades y características cuantitativas**

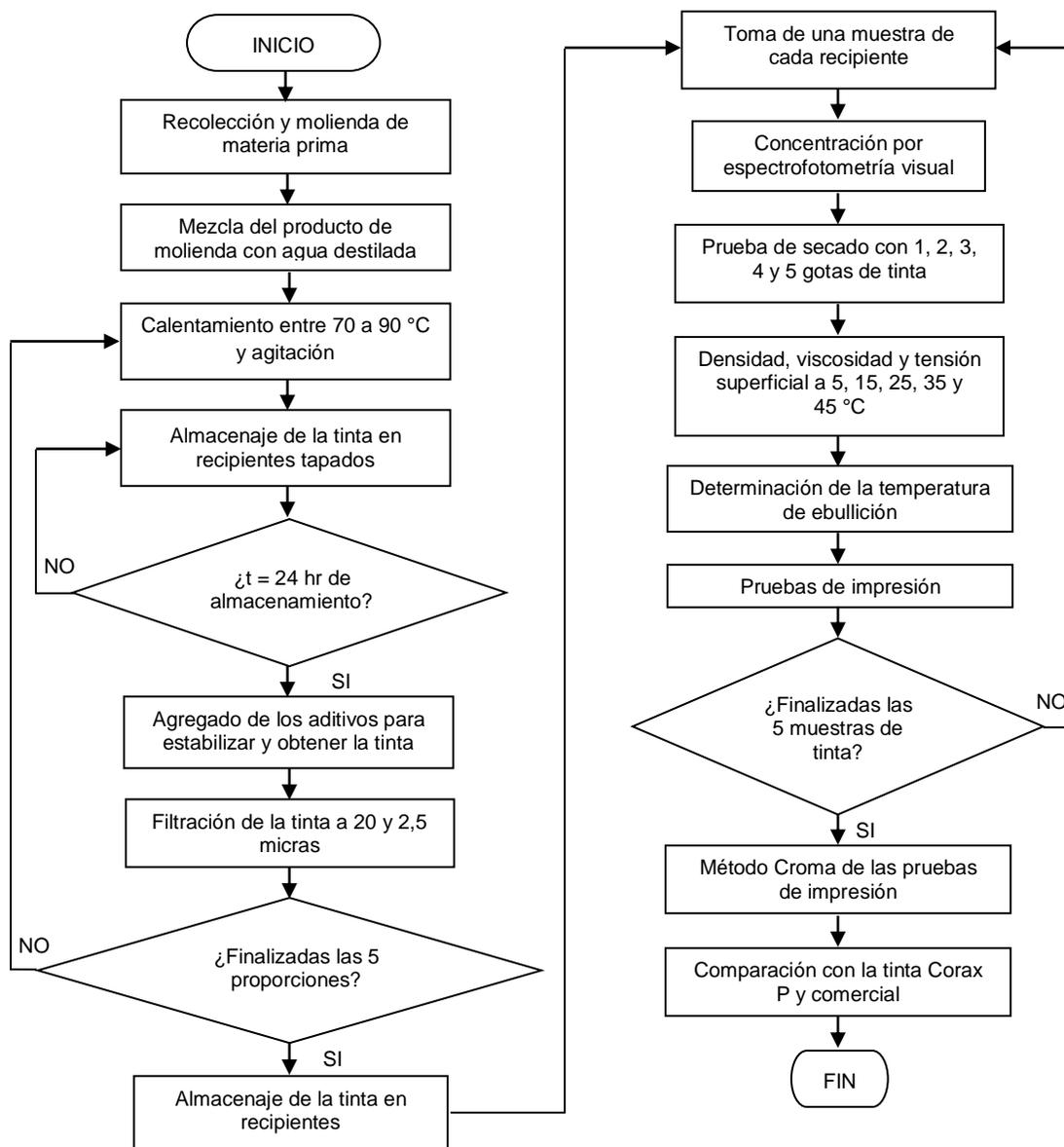
Técnica cuantitativa	Instrumento / Método	Cuantitativa	
		Continua	Discreta
Proporción colorantes naturales – agua	Espectrofotómetro	X	
Cantidad de gotas	Gotero		X
Tiempo de secado	Cronómetro	X	
Temperatura	Termómetro	X	
Viscosidad	Viscosímetro	X	
Densidad	Picnómetro	X	
Tensión superficial	Capilaridad	X	
Temperatura de ebullición	Termómetro	X	
Intensidad de color	Croma	X	
Factibilidad económica	Costos	X	

Fuente: elaboración propia.

### 3.5.1. Diseño experimental general

Logística de experimentación a nivel laboratorio tanto en la formulación y elaboración de la tinta como en las pruebas fisicoquímicas.

Figura 14. Diagrama de flujo del experimento



Fuente: elaboración propia.

### **3.5.2. Análisis del diseño experimental**

Al haber realizado la primera parte experimental, se obtuvo un volumen determinado de tinta para impresora a partir de una proporción de colorantes naturales y agua. La segunda parte experimental, se evaluaron las propiedades fisicoquímicas de muestras de cada proporción y se compararon con las propiedades de las tintas tanto de Corax P como la comercial. Muestra blanco o tinta blanco se le denomina a la tinta formulada a partir del negro de humo Corax P. Al finalizar, se imprimió con las tintas formuladas a partir de los colorantes naturales y se verificó la factibilidad técnica y económica.

### **3.5.3. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables**

Las proporciones colorante natural – solvente agua, fueron la base en la formulación de la tinta de impresora. Para cuantificar el proceso, se cuenta con variables que determinan en sí la incidencia de los resultados, proporcionando respuestas al fenómeno fisicoquímico que interactúa en la impresión de inyección por burbujas.

#### **3.5.3.1. Concentración de la tinta**

Variable: concentración

Modelo: ley de Lambert – Beer

Método: espectrofotometría visible

Explicación del método:

- Se preparó y calibró el espectrofotómetro utilizando agua destilada como blanco.
- Fue determinada la longitud de onda óptima con el espectrofotómetro utilizando la tinta comercial a dilución 1:2000 en agua.
- Con base a esta calibración, se utilizaron como muestras las tintas a base de colorantes naturales en solución 1:2000 y se anotó la absorbancia a la longitud de onda óptima.
- También fueron anotados el coeficiente de absorción molar y la longitud.
- Se utilizó la ley de Lambert – Beer para determinar la concentración.

### **3.5.3.2. Tiempo de secado**

Variable: tiempo

Modelo: prueba de secado

Método: por gotas

Explicación del método:

- Preparada la tabla de prueba de secado en una hoja bond de 80 gramos, se llenó según las especificaciones de cada muestra (1 gota, 2 gotas, etcétera).
- Fue anotado el tiempo en que se seca por completo las gotas de la muestra que se dejaron caer en el sustrato.
- Para establecer las temperaturas en las pruebas, se ubicó la primer tabla en una superficie a 25 grados Celsius y la segunda prueba dentro de una caja de madera utilizando un bombillo para su respectivo calentamiento ambiental a 35 grados Celsius.

### **3.5.3.3. Densidad**

Variable: densidad

Modelo: magnitud intensiva por definición

Método: picnómetro

Explicación del método:

- La balanza analítica fue calibrada de acuerdo al manual del equipo.
- Con la muestra de tinta calentada a la temperatura de medición, se llenó el picnómetro hasta el punto de aforo con la tinta.
- Por último, se pesó el picnómetro conteniendo cada muestra de tinta.

### **3.5.3.4. Viscosidad**

Variable: viscosidad

Modelo: ley de Stokes

Método: caída libre

Explicación del método:

- Se llenó el tubo con una muestra de tinta llevada a la temperatura de medición.
- Luego, se procedió a invertir el tubo ya cerrado conteniendo la esfera dentro del viscosímetro.
- Una vez invertido el viscosímetro, restaurarlo a la posición normal y girar el botón para liberar la esfera rápidamente.
- Se tomó el tiempo en que la esfera se movió de un extremo rojo al otro.

### 3.5.3.5. Tensión superficial

Variable: tensión superficial

Modelo: ley de Jurín

Método: capilaridad

Explicación del método:

- Preparado el equipo para calentamiento, se colocó en un *beacker* de 50 mililitros la tinta y se calentó a 45 grados Celsius.
- Se introdujo un capilar de manera vertical hasta su marca de aforo.
- Fue anotada la altura a la que ascendió el líquido por encima de la superficie.
- Se repitieron los pasos anteriores con temperaturas de 35, 25, 15 y 5 grados Celsius.

### 3.5.3.6. Temperatura de ebullición

Variable: temperatura

Modelo: propiedades coligativas

Método: aparición de la primera burbuja

Explicación del método:

- En un *beacker* se colocó una muestra de 50 mililitros de la tinta y alcanzada su punto de ebullición, fue anotada la temperatura a la cual apareció la primera burbuja.
- Se repitieron los pasos anteriores con las demás muestras.

### **3.5.3.7. Prueba de impresión**

Variable: cualitativa

Equipo: Canon PIXMA IP 1600

Dentro de las propiedades de la impresora Inkjet que se utilizó para realizar las pruebas de impresión, se presenta como uno de sus mantenimientos la prueba de los inyectores. Presenta un diseño, el cual se utilizó como la prueba de impresión en esta investigación (ver figura 15).

### **3.5.3.8. Configuración RGB e intensidad del color**

Variable: cualitativa

Método: comparación de color

Explicación del método:

- Se escogió una hoja ya impresa con cualquiera de las tintas formuladas.
- Utilizando la figura 15 de dicha impresión, se comparó con la paleta de colores proporcionada por Microsoft Office 2007 (ver figura 16) con la cual se determinó su configuración RGB.
- Con la configuración RGB (rojo, verde, azul), se procedió a determinar el porcentaje de saturación del color.

### **3.5.3.9. Análisis de factibilidad económica**

Variable: dinero (Q)

Modelo: estudio de factibilidad

Método: costo por producción unitario

Explicación del método:

- Se preparó la tabla del costo por producción unitario de tinta.
- Para cada muestra, se determinó el costo de la cantidad utilizada de materia prima mediante una relación estequiométrica, utilizando como base el costo inicial de cada material.

### 3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Los datos que se obtuvieron en el proceso dependen de la proporción colorantes naturales – agua. Una vez realizada la molienda de la materia prima, se formularon las tintas a partir de colorantes naturales y se determinó la prueba de secado y sus propiedades fisicoquímicas. Luego, se procedió a realizar la impresión, se determinó la saturación del color y se hicieron los análisis económicos respectivos. Los formatos en los cuales se tabularon los datos se presentan a continuación.

Tabla V. **Masa para la molienda de materia prima**

Masa de la Materia prima (g)		
Hoja tinta	Palo de Campeche	Residuo de combustión
$m_1$	$m_2$	$m_3$

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Masa de materia prima para la proporción colorante natural/Corax P – agua destilada**

Tinta no.	Proporción (g)			
	Colorante natural			Agua
	Hoja tinta	Palo de c.	Residuos	
1	$m_{11}$	$m_{21}$	$m_{31}$	$m_{a1}$
2	$m_{12}$	$m_{22}$	$m_{32}$	$m_{a2}$
3	$m_{13}$	$m_{23}$	$m_{33}$	$m_{a3}$
4	$m_{14}$	$m_{24}$	$m_{34}$	$m_{a4}$
5	$m_{15}$	$m_{25}$	$m_{35}$	$m_{a5}$
	Colorante Corax P			
Blanco	$m_6$			$m_{aB}$

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Volumen de los aditivos a las muestras**

Tinta no.	1	2	3	4	5	Blanco
Agua destilada	$V_{11}$	$V_{21}$	$V_{31}$	$V_{41}$	$V_{51}$	$V_{B1}$
Monoetilenglicol	$V_{12}$	$V_{22}$	$V_{32}$	$V_{42}$	$V_{52}$	$V_{B2}$
Alcohol Isopropílico	$V_{13}$	$V_{23}$	$V_{33}$	$V_{43}$	$V_{53}$	$V_{B3}$
Glicerina	$V_{14}$	$V_{24}$	$V_{34}$	$V_{44}$	$V_{54}$	$V_{B4}$
Formol	$V_{15}$	$V_{25}$	$V_{35}$	$V_{45}$	$V_{55}$	$V_{B5}$

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. Prueba del tiempo de secado para cada muestra

Muestra	1 gota	2 gotas	3 gotas	4 gotas	5 gotas
1					
	t = ____ s				
2					
	t = ____ s				
3					
	t = ____ s				
4					
	t = ____ s				
5					
	t = ____ s				
Blanco					
	t = ____ s				
Comercial					
	t = ____ s				

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Datos del espectrofotómetro para cada muestra de la tinta**

Muestra	$\lambda$ (nm)	$A\lambda$ (adim.)
1	$\lambda_1$	$A\lambda_1$
2	$\lambda_2$	$A\lambda_2$
3	$\lambda_3$	$A\lambda_3$
4	$\lambda_4$	$A\lambda_4$
5	$\lambda_5$	$A\lambda_5$
Blanco	$\lambda_B$	$A\lambda_B$
Comercial	$\lambda_C$	$A\lambda_C$

Fuente: elaboración propia.

También se tomó nota del coeficiente de absorción molar ( $\epsilon_\lambda$ ).

Tabla X. **Formato básico de la densidad según temperatura de la tinta**

Muestra	Temperatura (°C)	Masa (g)
x	5	$m_{x1}$
	15	$m_{x2}$
	25	$m_{x3}$
	35	$m_{x4}$
	45	$m_{x5}$

Fuente: elaboración propia.

Se tomó en cuenta que el volumen del picnómetro será el volumen de la muestra.

Tabla XI. **Formato básico de la viscosidad según temperatura de la tinta**

Muestra	Temperatura (°C)	tiempo (s)
x	5	$T_{x1}$
	15	$t_{x2}$
	25	$t_{x3}$
	35	$t_{x4}$
	45	$t_{x5}$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Formato básico de la tensión superficial según temperatura de la tinta**

Muestra	Temperatura (°C)	h (cm)
x	5	$h_{11}$
	15	$h_{12}$
	25	$h_{13}$
	35	$h_{14}$
	45	$h_{15}$

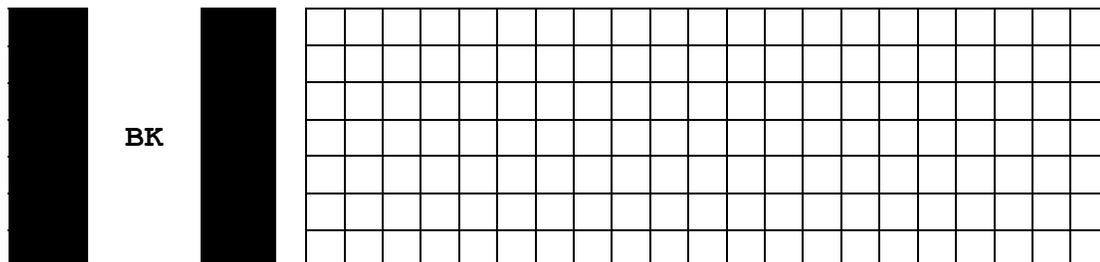
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Formato básico de la temperatura de ebullición**

Muestra	Temperatura de ebullición (°C)
1	$T_{11}$
2	$T_{12}$
3	$T_{13}$
4	$T_{14}$
5	$T_{15}$
Blanco	$T_{B5}$
Comercial	$T_{C5}$

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Diseño de la prueba de impresión**



Fuente: mantenimiento, prueba de los inyectores. Propiedades de Canon Inkjet IP 1600. Visto en Microsoft Office 2007.

Figura 16. Paleta de colores de Microsoft Office 2007



Fuente: extraída de Microsoft Office 2007.

Tabla XIV. **Formato básico del costo por producción unitario de la tinta a partir de colorantes naturales**

Muestra no.		
Materia prima	Cantidad utilizado	Costo (Q)
Hoja tinta		
Palo de Campeche		
Residuo de comb. de bagazo		
Aditivos	Subtotal	
Agua destilada		
Alcohol Isopropílico		
Monoetilenglicol		
Glicerina		
Formol		
Servicios estimados	Subtotal	
Energía eléctrica		
Agua potable		
Otros	Subtotal	
Filtro 2,5 $\mu\text{m}$		
Filtro 20 $\mu\text{m}$		
Papel mayordomo		
Hojas bond		
Mano de obra estimada		
Subtotal		
Total		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Formato básico del costo por producción unitario de la tinta a partir del colorante Corax P de la casa DEGUSSA**

Muestra: Blanco		
Materia Prima	Cantidad utilizado	Costo (Q)
Negro de Humo (Corax P)		
Aditivos	Subtotal	
Agua destilada		
Alcohol Isopropílico		
Monoetilenglicol		
Glicerina		
Formol		
Servicios estimados	Subtotal	
Energía eléctrica		
Agua potable		
Otros	Subtotal	
Filtro 2,5 µm		
Filtro 20 µm		
Papel mayordomo		
Hojas bond		
Mano de obra estimada		
Subtotal		
Total		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Formato básico del análisis estadístico realizado a la investigación**

Muestra	Propiedad	Modelo de regresión lineal	$R^2$	$\Delta R^2$
x	$t_{25\text{ °C}}$			
	$t_{35\text{ °C}}$			
	$\rho$			
	$\mu$			
	$\gamma$			

Fuente: elaboración propia.

### 3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Se utilizó Microsoft Office Excel ® 2010 como herramienta eficaz de análisis de datos, valores cuantitativos y estadística, que contiene la capacidad para generar informes y gráficos. Es frecuentemente utilizado por personas involucradas en el campo de la investigación. Con este programa se puede:

- Realizar operaciones con valores cuantitativos
- Estimar datos estadísticos
- Crear informes estadísticos detallados



## 4. RESULTADOS

### 4.1. Formulaciones de las tintas

Nota: las formulaciones de las tintas a partir de colorantes naturales no se presentan en esta etapa de la investigación, debido a propiedad intelectual y por posibles investigaciones futuras. Por lo que las tablas XVII a XXII de la presente investigación muestran valores numéricos aproximados, porcentajes o inclusive rangos.

Tabla XVII. **Fórmula de la tinta no. 1**

Componente	Cantidad utilizado
Hoja tinta	4 - 6% w/w de colorante
Palo de Campeche	80 - 85% w/w de colorante
Residuo de comb. Bagazo	14 - 15% w/w de colorante
Agua desmineralizada	70 - 75% v/v
Isopropanol	3 - 5% v/v
Monoetilenglicol	15 - 20% v/v
Glicerina	0,1 - 1% v/v
Formaldehído	0 - 1% v/v

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Fórmula de la tinta no. 2**

Componente	Cantidad utilizado
Hoja tinta	6 - 10% w/w de colorante
Palo de Campeche	77 - 80% w/w de colorante
Residuo de comb. Bagazo	12 - 14% w/w de colorante
Agua desmineralizada	70 - 75% v/v
Isopropanol	3 - 5% v/v
Monoetilenglicol	15 - 20% v/v
Glicerina	0,1 - 1% v/v
Formaldehído	0 - 1% v/v

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Fórmula de la tinta no. 3**

Componente	Cantidad utilizado
Hoja tinta	20 - 23% w/w de colorante
Palo de Campeche	42 - 45% w/w de colorante
Residuo de comb. Bagazo	30 - 34% w/w de colorante
Agua desmineralizada	70 - 75% v/v
Isopropanol	3 - 5% v/v
Monoetilenglicol	15 - 20% v/v
Glicerina	0,1 - 1% v/v
Formaldehído	0 - 1% v/v

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Fórmula de la tinta no. 4**

Componente	Cantidad utilizado
Hoja tinta	11 - 12% w/w de colorante
Palo de Campeche	78 - 82% w/w de colorante
Residuo de comb. Bagazo	9 - 11% w/w de colorante
Agua desmineralizada	70 - 75% v/v
Isopropanol	3 - 5% v/v
Monoetilenglicol	15 - 20% v/v
Glicerina	0,1 - 1% v/v
Formaldehído	0 - 1% v/v

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Fórmula de la tinta no. 5**

Componente	Cantidad utilizado
Hoja tinta	0 - 2% w/w de colorante
Palo de Campeche	96 - 100% w/w de colorante
Residuo de comb. Bagazo	0 - 2% w/w de colorante
Agua desmineralizada	70 - 75% v/v
Isopropanol	3 - 5% v/v
Monoetilenglicol	15 - 20% v/v
Glicerina	0,1 - 1% v/v
Formaldehído	0 - 1% v/v

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Fórmula de la tinta blanco**

Componente	Cantidad utilizado
Negro de humo Corax P	4 - 5% w/w
Agua desmineralizada	70 - 75% v/v
Isopropanol	3 - 5% v/v
Monoetilenglicol	15 – 20% v/v
Glicerina	0,1 – 1% v/v
Formaldehído	0 – 1% v/v

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2. **Concentración óptima de las tintas**

Nota: los valores que se presentan a continuación se obtuvieron a partir de espectrofotometría visible. Debido a la presencia del colorante los datos no son confiables, por lo que esta metodología debe reevaluarse o reemplazarse.

Tabla XXIII. **Concentración para cada muestra de las tintas**

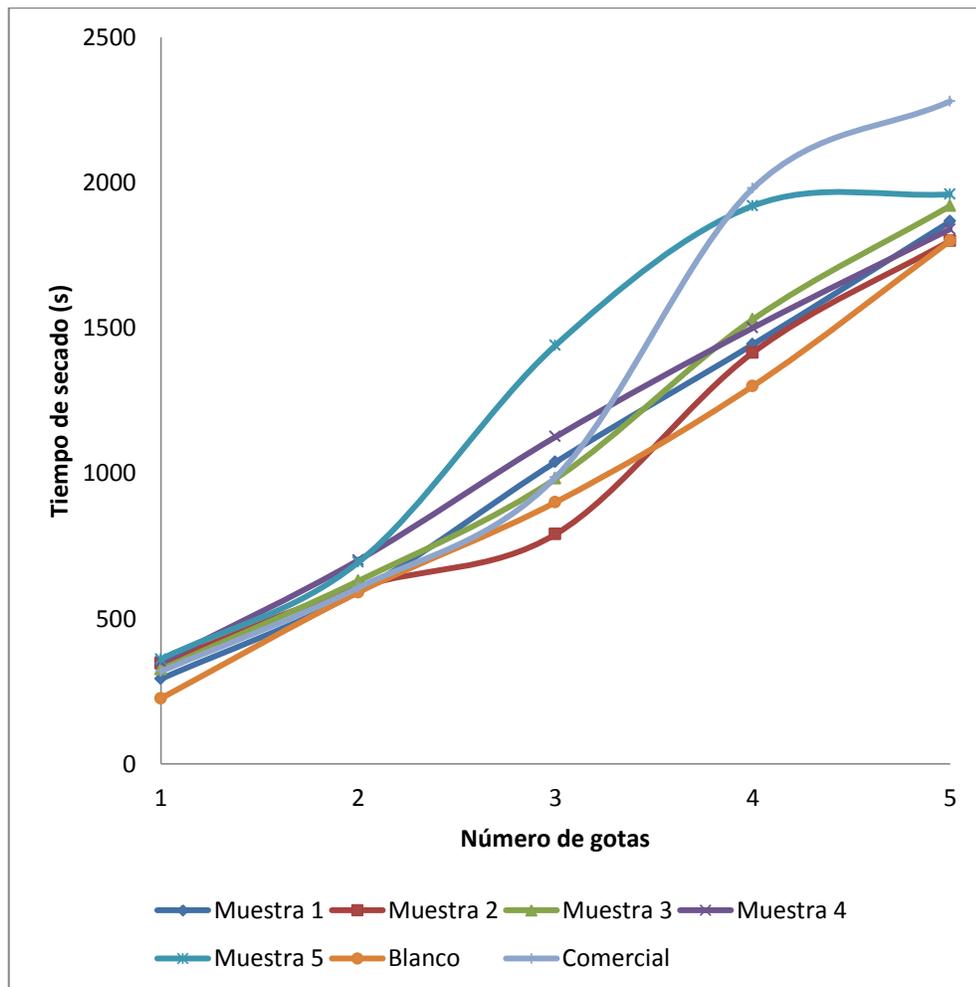
Muestra	C (M)
1	1,8873E-03
2	1,4871E-03
3	3,6367E-03
4	1,3700E-03
5	5,2667E-04
Blanco	1,1448E-02
Comercial	1,1113E-02

Fuente: elaboración propia.

### 4.3. Tiempo de secado de las tintas

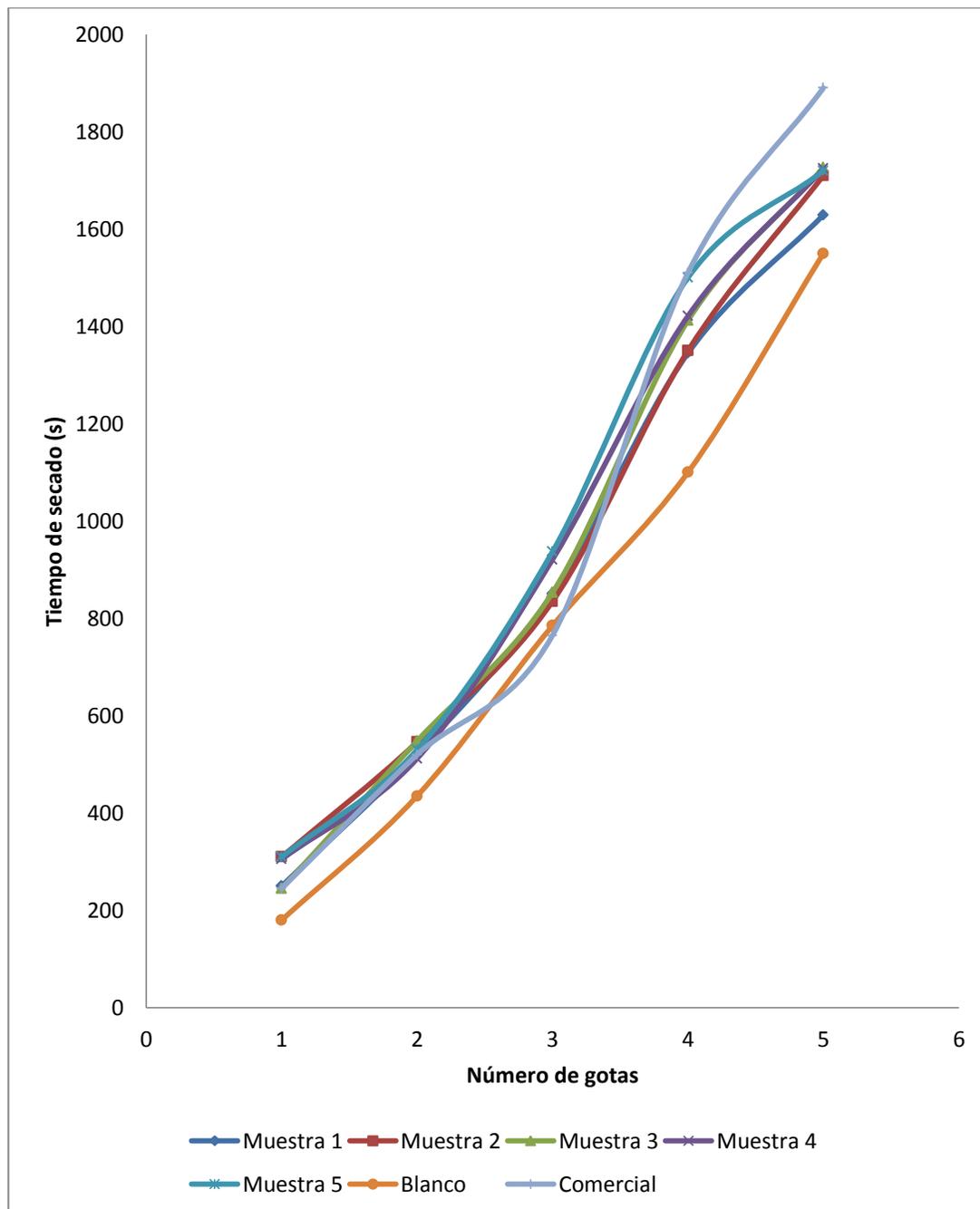
El tiempo de secado de las tintas se evaluó a 25 y 35 grados Celsius, siendo esta propiedad una de las más importantes a evaluar debido a la semejanza obtenida de las correlaciones.

Figura 17. **Curvas de tiempo de secado para cada muestra de tinta a T = 25 °C**



Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Curvas de tiempo de secado para cada muestra de tinta a T = 35 °C**

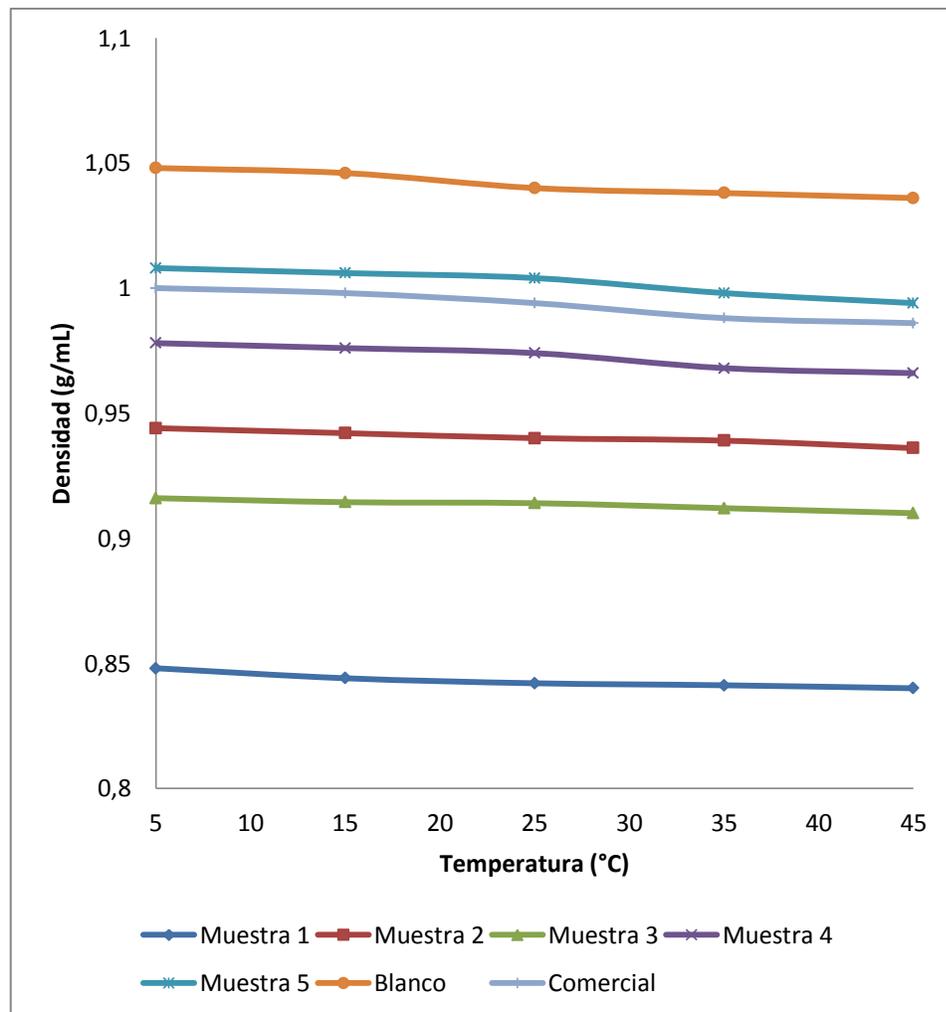


Fuente: elaboración propia.

#### 4.4. Propiedades fisicoquímicas de las tintas

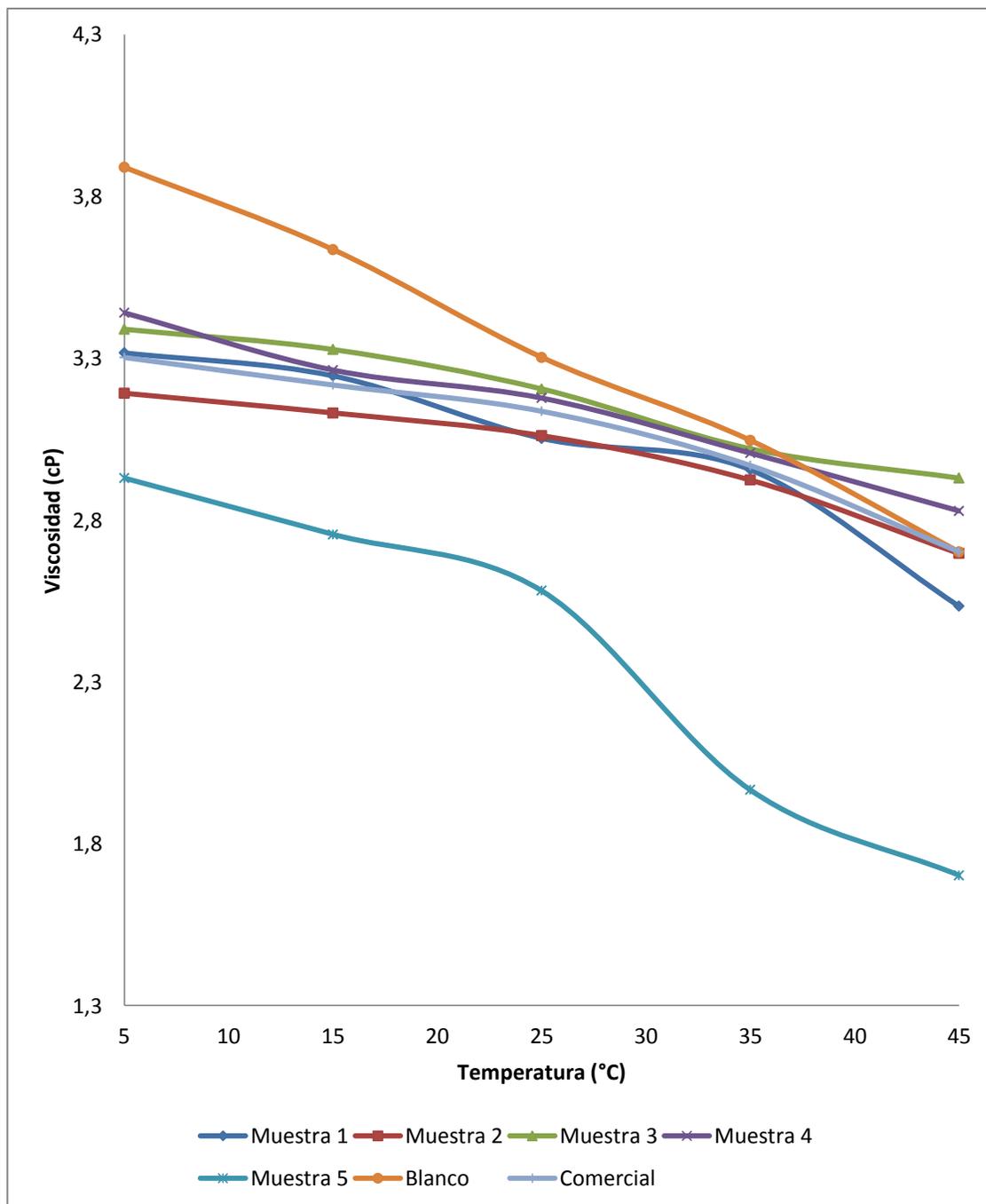
A continuación se presentan las figuras de densidad, viscosidad y tensión superficial evaluadas a 5, 15, 25, 35 y 45 grados Celsius y la temperatura de ebullición para cada muestra de tinta.

Figura 19. Curvas de densidad para cada muestra de tinta



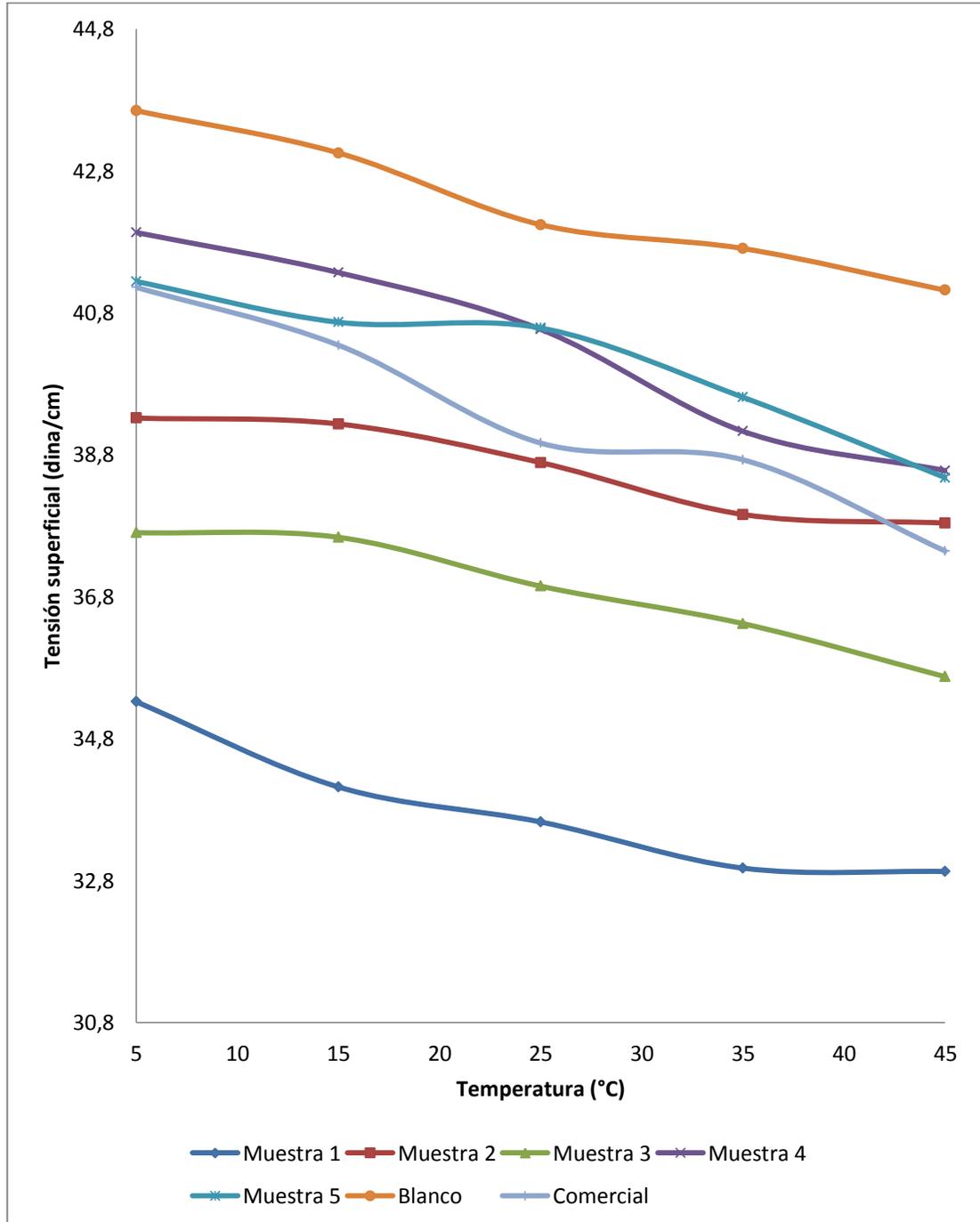
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Curvas de viscosidad para cada muestra de tinta



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Curvas de tensión superficial para cada muestra de tinta



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Temperatura de ebullición para cada muestra de las tintas a presión atmosférica**

Muestra	T (°C)
1	94
2	94,3
3	94,3
4	94,5
5	94,5
Blanco	96,5
Comercial	95,5

Fuente: elaboración propia.

#### 4.5. Prueba de impresión de las tintas

Este resultado se muestra como criterio de aceptabilidad en cuanto al comportamiento observado en el proceso de impresión en la impresora Canon PIXMA iP 1600.

Tabla XXV. **Prueba de impresión de las tintas evaluadas a partir de criterios de aceptabilidad del modelo de impresión**

Muestra	Criterio
1	Aceptable
2	Aceptable
3	Aceptable
4	Aceptable
5	Aceptable
Blanco	No aceptable
Comercial	Aceptable

Fuente: elaboración propia.

#### 4.6. Intensidad del color de las tintas

Los valores de intensidad se basan directamente de la configuración RGB de las muestras de impresión, cuyos datos se determinaron en el espectro color amarillo de la paleta de colores.

Tabla XXVI. **Intensidad del color para cada modelo impreso**

Muestra	S (%)
1	43,9216
2	32,9412
3	25,0980
4	43,9216
5	34,5098
Blanco	---
Comercial	0

Fuente: elaboración propia.

#### 4.7. Factibilidad económica de las tintas

Para cada muestra de tinta se determinó el costo (en quetzales) por producción unitario en la elaboración de 300 mililitros. El costo de la tinta comercial está basado como un promedio de los costos de las tintas convencionales en Guatemala.

Tabla XXVII. **Costo por producción unitario de cada muestra de tinta**

Muestra	V (mL)	C (Q)
1	300	113,67
2	300	118,27
3	300	117,43
4	300	124,85
5	300	116,09
Blanco	300	147,37
Comercial	300	200,00

Fuente: elaboración propia.

#### 4.8. **Análisis estadístico de las muestras de tinta**

Las siguientes tablas proporcionan los resultados obtenidos del análisis estadístico de cada una de las propiedades evaluadas para cada muestra de tinta.

Tabla XXVIII. **Análisis estadístico de las propiedades de las tintas a partir de colorantes naturales**

Muestra	Propiedad	Modelo de regresión lineal	R <sup>2</sup>	ΔR <sup>2</sup>
1	t <sub>25 °C</sub>	t = 399,9n - 153,5	0,9966	0,0021
	t <sub>35 °C</sub>	t = 358,2n - 155,6	0,9898	0,0013
	ρ	ρ = -0,0001T + 0,9169	0,9009	0,0801
	μ	μ = -0,0186T + 3,4846	0,9050	0,0925
	γ	γ = -0,0593T + 35,275	0,9049	0,0724

Continuación de la tabla XXVIII.

2	t <sub>25 °C</sub>	$t = 371,8n - 124$	0,9603	0,0384
	t <sub>35 °C</sub>	$t = 360,4n - 131$	0,9813	0,0098
	$\rho$	$\rho = -0,0002T + 0,945$	0,9810	0
	$\mu$	$\mu = -0,012T + 3,3003$	0,9226	0,0749
	$\gamma$	$\gamma = -0,0423T + 39,667$	0,9356	0,0417
3	t <sub>25 °C</sub>	$t = 409n - 150,2$	0,9896	0,0091
	t <sub>35 °C</sub>	$t = 382,6n - 191$	0,9868	0,0043
	$\rho$	$\rho = -0,0001T + 0,9169$	0,9614	0,0196
	$\mu$	$\mu = -0,0123T + 3,4808$	0,9758	0,0217
	$\gamma$	$\gamma = -0,0528T + 38,195$	0,9524	0,0249
4	t <sub>25 °C</sub>	$t = 378n - 31$	0,9987	0
	t <sub>35 °C</sub>	$t = 374,7n - 147,5$	0,9845	0,0066
	$\rho$	$\rho = -0,0003T + 0,9804$	0,9552	0,0258
	$\mu$	$\mu = -0,0148T + 3,5133$	0,9892	0,0083
	$\gamma$	$\gamma = -0,0895T + 42,551$	0,9751	0,0022
5	t <sub>25 °C</sub>	$t = 442,7n - 53,5$	0,9384	0,0603
	t <sub>35 °C</sub>	$t = 379n - 137,6$	0,9776	0,0135
	$\rho$	$\rho = -0,0004T + 1,011$	0,9529	0,0281
	$\mu$	$\mu = -0,0324T + 3,1983$	0,9447	0,0528
	$\gamma$	$\gamma = -0,0659T + 41,764$	0,9163	0,0610

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Análisis estadístico de las propiedades de las tintas a partir de colorantes artificiales**

Muestra	Propiedad	Modelo de regresión lineal	R <sup>2</sup>	ΔR <sup>2</sup>
B	t <sub>25 °C</sub>	t = 386n - 195	0,9921	0,0066
	t <sub>35 °C</sub>	t = 340,5n - 211,5	0,9911	0
	ρ	ρ = -0,0003T + 1,0496	0,9552	0,0258
	μ	μ = -0,0297T + 4,057	0,9975	0
	γ	γ = -0,0641T + 43,916	0,9773	0
C	t <sub>25 °C</sub>	t = 529,8n - 355,4	0,9529	0,0458
	t <sub>35 °C</sub>	t = 428n - 298	0,9607	0,0304
	ρ	ρ = -0,0004T + 1,0027	0,9704	0,0106
	μ	μ = -0,0145T + 3,4275	0,9311	0,0664
	γ	γ = -0,0905T + 41,59	0,9710	0,0063

Fuente: elaboración propia.

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se realizaron cinco formulaciones de tinta de impresora a partir de los colorantes naturales hoja tinta, palo de Campeche y residuos de la combustión de bagazo de caña de azúcar y una formulación utilizando el colorante Corax P, utilizando como vehículo agua destilada y como aditivos el etilenglicol, alcohol isopropílico, glicerina y formaldehído, como lo muestran las tablas XVII a XXII en la sección de resultados.

Generalmente, los disolventes orgánicos o aditivos que se agregaron a la tinta cumplen funciones específicas: el etilenglicol es el humectante, el alcohol isopropílico funciona como secante, como fijador de la tinta en el papel se utilizó glicerina y como preservante el formaldehído. Como base se utilizó agua destilada ya que a partir de ésta se formula la tinta de una impresora térmica de inyección por burbuja.

Para las tintas no. 1, 2, 3, 4 y 5, al mezclar cierta cantidad en masa de hoja tinta y palo de Campeche con el agua destilada, no se vio afectada la solubilidad. Sin embargo, la combustión de bagazo de caña de azúcar es insoluble en el agua destilada, las partículas suspendidas fueron mayores que 2,5 micrómetros y gran porcentaje de la combustión de bagazo quedó en el retentato del proceso de filtración a 2,5 micrómetros.

La tinta no. 4 fue formulada con una mayor proporción de colorantes naturales, esto con el objetivo de que se intensificara más el color.

Pero se observó el surgimiento de colonia de algas y otro tipo de bacterias las cuales perjudican directamente la presentación del producto y además pueden ser perjudiciales al cartucho. Gracias a las filtraciones se logró interceptar aproximadamente el 65% de agentes indeseables y se inhibió el crecimiento del resto debido al efecto del formaldehído. Las tintas no. 1, 2 y 3 no presentaron colonias bacterianas. Es por eso que la tinta no. 5 ya no se formuló con mayor proporción de colorantes naturales. Aún así, la tinta no. 4 fue objeto de prueba de impresión debido a la solubilidad de su composición.

Con respecto a la formulación de la tinta denominada blanco (utilizando colorante Corax P), al principio se ve soluble en agua destilada, pero al paso del tiempo comienza el colorante a precipitarse sobre la superficie del recipiente, lo que lo hace en realidad insoluble en agua, comportándose como un pigmento el cual necesita de estabilizantes para suspenderlo sobre toda la solución. Se utilizó la tinta blanco como parámetro de comparación de concentración, propiedades fisicoquímicas, tiempo de secado y factibilidad económica, más no para la prueba de impresión, ya que las impresoras por inyección de burbuja funcionan específicamente con colorantes, no pigmentos.

Para evaluar el contenido de colorante resultante en cada tinta, se procedió a una metodología inapropiada por espectrofotometría visible, con la idea de evaluar la concentración de la tinta utilizando para ello la incidencia de la luz en las soluciones a una dilución de 1:2000 con agua destilada. El resultado fue que a mayor contenido de colorante, mayor concentración de la solución. De todas formas la metodología utilizada no garantiza estos resultados.

Uno de los parámetros de comparación más importantes en esta investigación fue el tiempo de secado de la tinta.

En la figura 17 y 18 se muestra la semejanza que existe en el tiempo de secado de una a cinco gotas de las tintas sobre una hoja de papel bond de 80 gramos color blanca, a 25 y 35 grados Celsius respectivamente. Las curvas de secado poseen pendientes positivas siguiendo la temática a mayor cantidad de tinta sobre una superficie de papel, mayor será el tiempo de secado de la tinta.

Generalmente, el tiempo de secado evaluado a las dos temperaturas posee características similares, sin embargo, a 35 grados Celsius las curvas se comportan más uniformes, sin desviaciones tanto en la tinta comercial como en la muestra no. 5. El tiempo de las tintas formuladas utilizando colorantes naturales a  $T = 25$  y  $35$  grados Celsius es indiferente en comparación al de la tinta comercial. El mejor punto de referencia de comparación utilizando las curvas de secado es el evaluado a una gota de tinta sobre la superficie del papel.

El tiempo de secado es influenciado por la cantidad de tinta concentrada en determinada área superficial de la hoja bond, además de la cantidad de colorante, ya que el papel absorbe la tinta y cuando se satura determinado rango superficial del papel, la tinta se ve obligada a extenderse hacia puntos de insaturación del substrato. Por lo tanto, mientras más concentrada de colorante esté la tinta, mayor será el tiempo de secado. Es por eso que a la cuarta y quinta gota de la tinta comercial a  $T = 25$  y  $35$  grados Celsius le tomó más tiempo en secarse que las demás tintas.

A parte de la función específica de cada aditivo, se deben combinar en conjunto con el colorante y el agua destilada con el fin de cumplir las propiedades fisicoquímicas que rigen el proceso de impresión sobre una hoja de papel bond color blanca, lo que conlleva a aumentar el rendimiento de la tinta dentro del cartucho.

La densidad es una propiedad que se utilizó en esta investigación principalmente como parámetro de comparación de las tintas. Según la figura 19 mostrada en la sección de resultados, como era de esperarse la densidad de las tintas disminuye al aumentar la temperatura. Esto debido a la contracción de las partículas, al haber más temperatura las partículas tienden a separarse y esta separación involucra un aumento en el volumen. El volumen es inversamente proporcional a la densidad, resultando en todas las tintas el mismo efecto. Además, cabe mencionar que la densidad para cada muestra no cambia significativamente respecto a la temperatura.

Si se observa el eje donde se encuentran los valores de densidad de las tintas en conjunto, el rango de dichos valores se encuentra entre 0,85 y 1,05 gramos por mililitro. La diferencia de por sí es muy significativa, dicho propiamente al valor de densidad como propiedad, sin embargo, para funcionamiento técnico en la impresora, esta propiedad no es la más importante. El cambio de la densidad de las tintas afecta el proceso de impresión, pero esta no es la mejor variable para determinar el impacto de la tinta en el sustrato. La propiedad que sí es importante como parámetro de estimación de propiedades reológicas y está regida por la densidad es la viscosidad.

La figura 20 muestra las curvas de viscosidad dinámica de las tintas respecto a la temperatura. Teóricamente, para impresoras que utilicen cabezales termales que expulsan la tinta hacia el sustrato, la viscosidad debe estar alrededor de 3 centipoises a condiciones ambientales. Según las curvas de viscosidad de las tintas, a mayor temperatura, menor viscosidad. Las tintas son fluidos newtonianos y su viscosidad no varía significativamente. Entonces, aunque las curvas tengan tendencia negativa al aumentar la temperatura, el rango de viscosidad se encuentra entre 1,8 y 3,8 centipoises, siendo este un rango insignificante dado a los buenos resultados de las pruebas de impresión.

La muestra 5 posee viscosidad que se encuentra en el rango de 2,8 a 1,8 centipoises. Esto se debe a que de alguna forma la cantidad y el tipo de colorante afecta la viscosidad dinámica de las tintas. La tinta no. 5 se formuló solamente con palo de Campeche, siendo este colorante fino, es decir, colorante de partículas diminutas, por lo que su viscosidad disminuye y la curva se aleja de las demás. Por otra parte, las curvas de viscosidad para las tintas 1 a 4 se encuentran alrededor de 3,3 centipoises, al igual que la tinta comercial, por lo que aseguraron buen rendimiento de impresión.

La tensión superficial es otra propiedad fisicoquímica importante que debe tener la tinta para asegurar el buen rendimiento del cabezal en el proceso de impresión y la figura 21 muestra las curvas de tensión superficial de las tintas respecto a la temperatura. Acorde a la teoría, la tensión superficial de la tinta para una impresora generalmente se encuentra en el rango entre 25 y 50 dinas por centímetro. Según las curvas de tensión superficial de las tintas, el rango está definido entre 33 y 43 dinas por centímetro, lo cual estableció definitivamente el poder inyectar la tinta dentro de los cartuchos sin tener problemas de derramamiento u obstrucción de los microtubos dentro del cabezal.

A medida que se incrementa la temperatura, la tensión superficial disminuye y este comportamiento se presenta en todas las tintas. Se observa que los valores de tensión superficial de las tintas formuladas a partir de colorantes naturales se encuentran alrededor de los valores de la tinta comercial, lo que presentó pautas de buen rendimiento en la formación de las gotas de tinta en el cabezal como también en la difusión de la tinta sobre el papel al imprimir.

Otro parámetro de comparación fue el de la temperatura de ebullición, evaluada a presión atmosférica. La tinta con mayor punto de ebullición fue la tinta blanco, con 96,5 grados Celsius, y la que menor punto de ebullición tuvo fue la tinta no. 1 con valor de 94 grados Celsius. Este cambio se debe a la aparición de un soluto (pigmento) en la solución. Pero independientemente de la tinta blanco, al comparar el punto de ebullición de la tinta comercial con la formulada a partir de colorantes naturales, existe nuevamente semejanza en esta propiedad, lo que satisface la condición severa de presión de vapor de la tinta dentro del cabezal en el proceso de impresión ( $T = 400$  grados Celsius aproximadamente).

La prueba de impresión fue la que en realidad determinó la factibilidad técnica del uso de las tintas formuladas a partir de colorantes naturales. Se inyectaron las cinco muestras de tinta, con el propósito de que al menos una tinta llegara a imprimirse en el papel. Las cinco tintas imprimieron en el papel, por eso en la tabla XXV se muestra el resultado aceptable, obteniendo comportamientos similares al de la tinta comercial. La impresión utilizando tintas naturales fue normal, la impresora reconoció el cartucho, no hubo derrame de tinta ni expansión de la misma sobre el papel, existió un proceso continuo de tinta y el tiempo de secado fue idóneo.

No se inyectó la tinta blanco al cartucho, por eso se muestra en la tabla XXV el resultado no aceptable, debido a que el colorante Corax P en realidad se comporta como pigmento dentro de los aditivos utilizados y esto a la vez contradice la norma de las impresoras Canon, ya que estas impresoras utilizan tintas compuestas por colorantes y no por pigmentos. Es cierto que se muestran resultados de propiedades fisicoquímicas de la tinta blanco, pero sólo se utilizaron para propósitos de comparación y no para la prueba de impresión por lo anteriormente expuesto.

Las tintas formuladas a partir de colorantes naturales imprimieron color amarillo sobre la hoja de papel bond color blanca, sin embargo, no todas presentaron la misma intensidad de color. Las tintas que presentaron mayor intensidad o saturación de color fueron la tinta no. 1 y la 4, con un valor de 43,9216% para ambas tintas. He aquí la conclusión más importante en la presente investigación: la mejor fórmula que se estableció fue para la tinta no. 1, ya que presentó una intensidad de color mayor que las demás al realizar la prueba de impresión. Respecto la tinta no. 4, pues presentó colonias de algas al momento de estarla realizando en el laboratorio, lo que disminuye su calidad de presentación como tinta en sí.

No existe valor de saturación para la tinta blanco dado a que no se imprimió con esta tinta, pero sí hay valor de saturación para la tinta comercial y es de 0, dado que la tinta comercial es de color negro y para un color negro no existe longitud de onda dominante.

Del análisis económico, según la tabla XXVII se muestra que el menor costo por producción unitario de la tinta formulada a partir de colorantes naturales corresponde a la tinta no. 1, con Q113,67 por 300 mililitros. Esto la hace la mejor tinta formulada a partir de colorantes naturales para la presente investigación.

Ahora bien, en general las tintas formuladas a partir de colorantes naturales tienen menor costo de producción que el de las tintas sintéticas y comerciales (según la media de los costos de tintas de diversas marcas y proveedores de aproximadamente Q200 por 100 mililitros), lo que la hace factible económicamente.

Por último, la tabla XXVIII y XXIX mostrada en la sección de resultados, hace referencia al análisis estadístico aplicado al estudio, representando las propiedades de las muestras (tintas). Generalmente, los valores de correlación de Pearson cuadráticos ( $R^2$ ) se encuentran entre los rangos de 0,9009 a 0,9966.

Mientras más cercano a 1 sea el valor de  $R^2$ , más estrecha será la relación entre las variables dependientes con las independientes; en este caso la teoría se cumple con la práctica. Las propiedades fisicoquímicas de las tintas tienen estrecha relación con las condiciones ambientales (temperatura), como también el secado depende definitivamente del tiempo, confirmado así por la diferencia de las correlaciones cuadráticas.

## CONCLUSIONES

1. Sí es técnica y económicamente factible la formulación de tinta para impresora de inyección por burbujas a partir de los colorantes naturales hoja tinta y palo de Campeche y de los aditivos comúnmente utilizados para las tintas comerciales.
2. La tinta no. 1 fue la mejor tinta formulada a partir de colorantes naturales, pues con bajo costo de producción se obtienen mejores rendimientos de impresión e intensidad de color.
3. La concentración óptima de la tinta no pudo ser determinada ya que la metodología utilizada no fue la más apropiada en la investigación, pues no hay confiabilidad en los resultados por espectrofotometría visible.
4. En general, el tiempo de secado sobre una hoja de papel bond 80 gramos de las tintas de impresora a partir de colorantes naturales es semejante al tiempo de secado de las tintas convencionales.
5. Las curvas de densidad son semejantes para las tintas naturales y las convencionales, siendo el valor de densidad la propiedad menos adecuada para evaluar el proceso de impresión.
6. El valor de la viscosidad a condiciones ambientales de las tintas naturales y de las convencionales se sitúa alrededor de los 3,3 centipoises, demostrando buen rendimiento de impresión y difusión en el sustrato.

7. Según las curvas de tensión superficial de las tintas, el rango tanto para las tintas naturales como para la comercial está definido entre 33 y 43 dinas por centímetro, lo que asegura buena esfericidad de la gota y difusión en la hoja bond durante el proceso de impresión.
8. Al comparar el punto de ebullición de la tinta comercial se asemeja con el de las tintas naturales, satisfaciendo la condición severa de presión de vapor de la tinta dentro del cabezal en el proceso de impresión.
9. Sí es factible técnicamente la formulación de tinta de impresora a partir de colorantes naturales, pues la prueba de impresión fue aceptable.
10. La tinta no. 1 imprimió color amarillo sobre la hoja de papel bond color blanca y fue la que mejor intensidad obtuvo, con valor de 43,9216%.
11. La tinta no. 1 tiene un costo de Q113,67 por 300 mililitros de producción, el cual es menor que el de las tintas comerciales, lo que hace factible económicamente la formulación de estas tintas.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar una investigación teórica exhaustiva de colorantes naturales o bien pigmentos naturales, los cuales tengan propiedades de tinción sobre las fibras, buena intensidad o tonalidad de color y al mismo tiempo sean solubles en agua y demás compuestos químicos, para expandir este nuevo campo de investigación.
2. Evaluar el tiempo que se deben dejar reposar los colorantes naturales en el agua, para evitar posibles formaciones de colonias de algas y bacterias y así determinar el máximo rendimiento de extracción de colorante.
3. Determinar la metodología correcta para medir la concentración o cantidad de colorante dentro de la tinta y de esta forma establecer su relación respecto la masa de materia prima, para hacer más eficiente el costo de producción.
4. Continuar en la investigación de este campo de estudio con distintos objetivos, como el determinar algún secante, humectante, preservante y fijador netamente naturales, para tratar de formular tintas de impresora que sean 100% naturales.
5. Realizar pruebas reológicas de las tintas formuladas a partir de colorantes naturales para comprender más el proceso de impresión y complementar la presente investigación.



## BIBLIOGRAFÍA

1. BeDigital Llumicolor. *Tintas Inkjet: mitos y leyendas*. [en línea] [http://www.grafimetal.com/art\\_tintas1.htm](http://www.grafimetal.com/art_tintas1.htm). [Consulta: 7 de marzo de 2011].
2. BELMONT, James; SHAKHNOVICH, Alex. “Pigmentos for Inkjet Applications”. En: *The Chemistry of Inkjet Inks*. MAGDASSI, Shlomo (ed.). Singapur: World Scientific, 2010. p. 101 – 122.
3. CACCIA, L.; NESPECA, M. “Industrial production printers - DReAM”. En: *Digital Printing of Textiles*. UJIIE, H. (ed.). Inglaterra: Woodhead; The Textile Institute, 2006. p. 84 – 97.
4. CAHILL, V. “The evolution and progression of digital printing of textiles”. En: *Digital Printing of Textiles*. UJIIE, H. (ed.). Inglaterra: Woodhead; The Textile Institute, 2006. p. 1 – 15.
5. CANO MORALES, Telma Maricela, et al. *Estudio tecnológico sobre los tintes naturales extraídos de la corteza de tres especies forestales cultivadas en Guatemala, para teñir fibras naturales que cumplan con especificaciones de calidad exigidas por el mercado*. Informe inédito. Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII); Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales (IIA), 2007. 91 p.

6. CARR, W. W. et al. "Drop formation and impaction". En: *Digital Printing of Textiles*. UJIIE, H. (ed.). Inglaterra: Woodhead; The Textile Institute, 2006. p. 53 – 68.
7. DAWSON, T. L. "Digital image design, data encoding and formation of printed images". En: *Digital Printing of Textiles*. UJIIE, H. (ed.). Inglaterra: Woodhead; The Textile Institute, 2006. p. 147 – 162.
8. DAWSON, T. L. "Digital colour management". En: *Digital Printing of Textiles*. UJIIE, H. (ed.). Inglaterra: Woodhead; The Textile Institute, 2006. p. 163 – 178.
9. Department of Chemical Engineering and Biotechnology. *Rheological characterisation of ink jet fluids*. [en línea] <http://www.ceb.cam.ac.uk/pages/rheological-characterisation.html>. [Consulta: 5 de marzo de 2011].
10. DE QUINTANILLA, Ruth Emilia. *Guía técnica: procesamiento del añil en El Salvador*. El Salvador: Proyecto Fomento de la Competitividad de las Empresas Rurales del Maraón y Añil en El Salvador, ejecutado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, con recursos financieros de CIDI/OEA; Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ), a través del Programa de Fortalecimiento de la Economía y Empleo FORTALECE (MINEC/GTZ), de la Cooperación Técnica Alemana (GTZ), 2005. vol. 2. 62 p.

11. DE SPIRITO, Ernesto. *Entendiendo el color y el sistema RGB*. [en línea] <http://www.latiumsoftware.com/es/articles/00015.php#9>. [Consulta: 15 de abril de 2011].
12. EDWARDS, Paul; SAMUEL, Josh. "Solvent-Based Inkjet Inks". En: *The Chemistry of Inkjet Inks*. MAGDASSI, Shlomo (ed.). Singapur: World Scientific, 2010. p. 141 – 160.
13. ESPOSITO, Diego. *Impresoras*. [en línea] <http://www.monografias.com/trabajos11/trimpres/trimpres.shtml>. [Consulta: 7 de marzo de 2011].
14. FREIRE, E. Mariano. "Ink jet printing technology (CIJ/DOD)". En: *Digital Printing of Textiles*. UJIIE, H. (ed.). Inglaterra: Woodhead; The Textile Institute, 2006. p. 29 – 52.
15. FU, Z.; HAAS; ROHM. "Pigmented ink formulation". En: *Digital Printing of Textiles*. UJIIE, H. (ed.). Inglaterra: Woodhead; The Textile Institute, 2006. p. 218 – 232.
16. GEORGE, B., et al. "Integration of fabric formation and coloration process". En: *Digital Printing of Textiles*. UJIIE, H. (ed.). Inglaterra: Woodhead; The Textile Institute, 2006. p. 123 – 143.

17. GUIROLA, Cristina. *Tintes Naturales, su uso en Mesoamérica desde la época prehispánica*. [en línea] Asociación FLAAR Mesoamérica, [ref. de 2010]. Disponible en web: [http://www.maya-archaeology.org/FLAAR\\_Reports\\_on\\_Mayan\\_archaeology\\_Iconography\\_publications\\_books\\_articles/12\\_tintes\\_naturales\\_maya\\_mesoamerica\\_etnobotanica\\_codice\\_artesania\\_prehispanico\\_colonial\\_tzutujil\\_mam.pdf](http://www.maya-archaeology.org/FLAAR_Reports_on_Mayan_archaeology_Iconography_publications_books_articles/12_tintes_naturales_maya_mesoamerica_etnobotanica_codice_artesania_prehispanico_colonial_tzutujil_mam.pdf).
18. HUDD, Alan. "Inkjet Printing Technologies". En: *The Chemistry of Inkjet Inks*. MAGDASSI, Shlomo (ed.). Singapur: World Scientific, 2010. p. 3 – 18.
19. HURTADO, José. *Indigo o Añil*. [en línea] <http://animalesyplantasdeperu.blogspot.com/2007/04/indigo-o-ail.html>. [Consulta: 2 de marzo de 2011].
20. MAGDASSI, Shlomo. "Ink requirements and formulations guidelines". En: *The Chemistry of Inkjet Inks*. MAGDASSI, Shlomo (ed.). Singapur: World Scientific, 2010. p. 19 – 42.
21. MARTI, Jorge. *Composición, fabricación de tintas y elementos escritores de pluma de ave*. [en línea] <http://www.periciasaligraficas.com/v2.0/resultados.php?contenidoSID=95>. [Consulta: 10 de marzo de 2011].
22. MONTOYA, Marcelo Alejandro. *Curso Impresoras*. [en línea] <http://www.mailxmail.com/curso-impresoras>. [Consulta: 6 de marzo de 2011].

23. NOGUCHI, H.; SHIROTA, K. "Formulation of aqueous inkjet ink". En: *Digital Printing of Textiles*. UJIIE, H. (ed.). Inglaterra: Woodhead; The Textile Institute, 2006. p. 233 – 251.
24. SANCHEZ VINDAS, Pablo Enrique. *Flórula del Parque Nacional Cahuita*. [en línea] [http://books.google.com.gt/books?id=c-H-RsmdjelC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.gt/books?id=c-H-RsmdjelC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false). [Consulta: marzo de 2011].
25. SCHMID, Christian. "Formulation and Properties of Waterborne Inkjet Inks". En: *The Chemistry of Inkjet Inks*. MAGDASSI, Shlomo (ed.). Singapur: World Scientific, 2010. p. 123 – 140.
26. THOMPSON, Elizabeth. "Tintes Tradicionales para Colorear Papel". *Revista Herencia*. 2009. vol. 22, núm. 1. 9 p.
27. YANG, Li. *Characterization of Ink Properties and Ink Jet Printing*. Informe inédito. Norrköping, Suecia: Universidad de Linköping, Departament of Science and Technology (ITN), [2003]. 11 p.



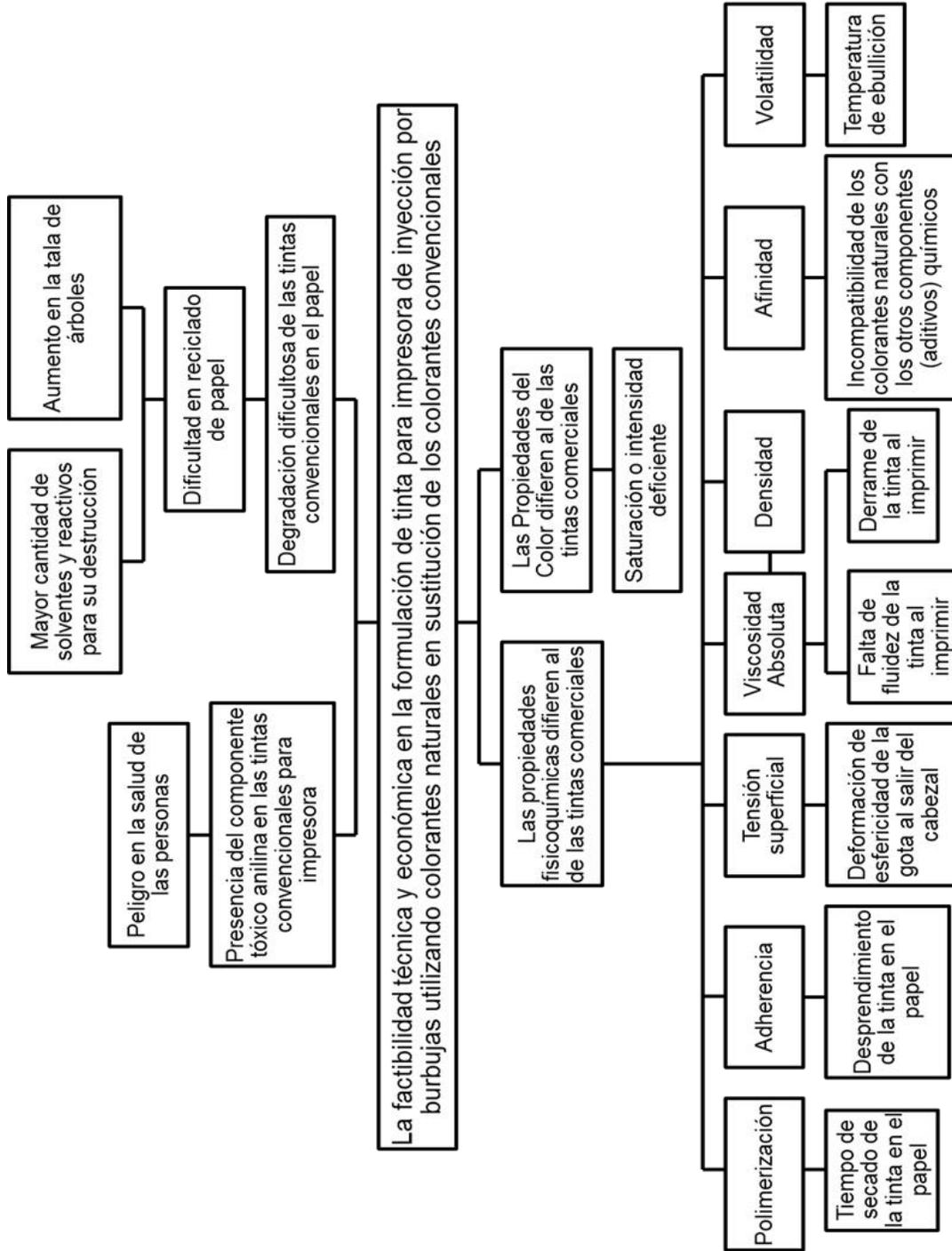
## APÉNDICES

### Apéndice 1. Requisitos académicos

Área	Cursos	Temas
Química	<ul style="list-style-type: none"><li>• Química 4</li><li>• Química orgánica 1</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Punto de ebullición</li><li>• Tensión superficial</li><li>• Densidad de soluciones</li><li>• Propiedades coligativas de las soluciones</li><li>• Técnicas de extracción</li></ul>
Fisicoquímica	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fisicoquímica 1</li><li>• Fisicoquímica 2</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Viscosidad</li><li>• Tensión superficial</li><li>• Punto de ebullición</li><li>• Solubilidad</li><li>• Espectrofotometría visible</li></ul>
Operaciones unitarias	<ul style="list-style-type: none"><li>• Transferencia de calor</li><li>• Transferencia de masa</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Calentamiento</li><li>• Enfriamiento</li><li>• Difusión</li><li>• Agitación</li></ul>
Ciencias básicas	<ul style="list-style-type: none"><li>• Estadística inferencial</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Regresión lineal</li></ul>

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 3. **Muestra de cálculo**

Concentración de la tinta formulada a partir de colorantes naturales, del colorante Corax P y de la tinta comercial artificial.

[Ecuación 1]

$$C = \frac{A_{\lambda}}{\epsilon_{\lambda} * L}$$

Donde:

C = concentración de la tinta [M]

$A_{\lambda}$  = absorbancia a la longitud de onda óptima  $\lambda$  [adim.]

$\epsilon_{\lambda}$  = coeficiente de absorción molar a la longitud de onda  $\lambda$  [L/mol cm]

L = longitud de camino [cm]

Ejemplo: cálculo de la concentración de la tinta no. 1 diluida 1:2000 a partir de variables tomadas por medio de espectrofotometría visible a  $\lambda = 500$  nm.

$$C = \frac{5,66E-02}{30 \text{ L/mol cm} * 1 \text{ cm}}$$

$$C = 1,8873E-03 \text{ M}$$

De la misma forma se calculó para cada concentración de tinta a partir de colorantes naturales, utilizando Corax P y de la tinta comercial, diluidas 1:2000. Los valores se hallan en el apéndice 4.

Continuación del apéndice 3.

Densidad de la tinta formulada a partir de colorantes naturales, del colorante Corax P y de la tinta comercial artificial.

[Ecuación 2]

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

$\rho$  = densidad de la tinta [g/mL]

$m$  = masa de la tinta [g]

$v$  = volumen del picnómetro [mL]

Ejemplo: cálculo de la densidad de la tinta no. 1 a 25 °C con volumen de picnómetro = 10 mL.

$$\rho = \frac{8,42 \text{ g}}{10 \text{ mL}}$$

$$\rho = 0,842 \text{ g/mL}$$

De la misma forma se calculó para cada muestra de tinta, según la temperatura de evaluación; consultar el apéndice 4.

Continuación del apéndice 3.

Viscosidad absoluta de la tinta formulada a partir de colorantes naturales, del colorante Corax P y de la tinta comercial artificial.

[Ecuación 3]

$$\mu = k * (\rho_s - \rho_l) * t$$

Donde:

$\mu$  = viscosidad absoluta de la tinta [cP]

$k$  = constante del viscosímetro [para el viscosímetro de esfera,  $k = 35$ ]

$\rho_s$  = densidad de la esfera [2,53 g/mL]

$\rho_l$  = densidad de la tinta [g/mL]

$t$  = tiempo [min]

Ejemplo: cálculo de la viscosidad por medio del viscosímetro de esfera de la tinta no. 1 formulada a partir de colorantes naturales, a  $T = 25$  °C. La densidad de la esfera de vidrio es de 2,53 g/mL.

$$\mu = 35 * (2,53 \text{ g/mL} - 0,842 \text{ g/mL}) * 0,0517 \text{ min}$$

$$\mu = 3,0525 \text{ cP}$$

De la misma forma se calculó la viscosidad para cada muestra de tinta, según la temperatura del medio; los valores se hallan en el apéndice 4.

Continuación del apéndice 3.

Tensión superficial de la tinta formulada a partir de colorantes naturales, del colorante Corax P y de la tinta comercial artificial.

[Ecuación 4]

$$\gamma = \frac{1}{2} * \rho * g * h * r$$

Donde:

$\gamma$  = tensión superficial de la tinta [dina/cm]

$\rho$  = densidad de la tinta [g/mL]

$g$  = gravedad [980 cm/s<sup>2</sup>]

$h$  = altura de ascenso en el tubo capilar [cm]

$r$  = radio del tubo capilar [0,05 cm]

Ejemplo: cálculo de la tensión superficial de la tinta no. 1 formulada a partir de colorantes naturales a temperatura de 25 °C, mediante el método de capilaridad.

$$\gamma = \frac{1}{2} * 0,842 \text{ g/mL} * 980 \text{ cm/s}^2 * 1,63 \text{ cm} * 0,05 \text{ cm}$$

$$\gamma = 33,6253 \text{ dina/cm}$$

De la misma forma se calculó para cada muestra de tinta, según la temperatura del medio; consultar el apéndice 4.

Continuación del apéndice 3.

Intensidad de color o saturación de la tinta formulada a partir de colorantes naturales y de la tinta comercial artificial.

[Ecuación 5]

$$S = \frac{(\max - me) + (me - mi)}{255} * 100$$

Donde:

S = saturación del color (%)

max = valor máximo de la configuración RGB (adimensional)

me = valor medio de la configuración RGB (adimensional)

mi = valor mínimo de la configuración RGB (adimensional)

Ejemplo: cálculo de la saturación de la tinta no. 1.

$$S = \frac{(255 - 236) + (236 - 143)}{255} * 100$$

$$S = 43,9216\%$$

De la misma forma se calculó la saturación para cada tinta; consultar el apéndice 4.

Continuación del apéndice 3.

Costo por producción unitario de la tinta formulada a partir de colorantes naturales y del colorante Corax P.

[Ecuación 6]

$$C(Q) = \frac{CMU * C_0}{CMC}$$

Donde:

C (Q) = costo [quetzales]

C<sub>0</sub> = costo inicial de la materia prima [quetzales]

CMU = cantidad de materia utilizada [dimensionales varias]

CMC = cantidad de materia comprada [dimensionales varias]

Ejemplo: cálculo del costo de la hoja tinta utilizada para la producción de la tinta no. 4.

$$C(Q) = \frac{7 \text{ g} * Q20}{25 \text{ g}}$$

$$C(Q) = Q5,60$$

De la misma forma se calculó para cada análisis económico por producción unitario, según el apéndice 4.

Continuación del apéndice 3.

Regresión lineal.

Para determinar la regresión lineal de las variables dependientes e independientes, se utilizó el software denominado Microsoft Excel 2010, que contiene las herramientas eficaces para el tratamiento de compatibilidad de variables cuantitativas experimentales. Entonces, simula de un gráfico 2D una línea recta compuesta por las dos variables:

$$y = m \cdot x + b$$

Dicha relación funcional matemática, dada por Microsoft Excel, define el coeficiente de regresión lineal (coeficiente de Pearson), el cual lo eleva al cuadrado ( $R^2$ ) y éste valor que oscila entre 0 y 1 determina directamente la relación existente entre las dos variables cuantitativas; si el valor es uno o cercano a uno, significa que la relación de las variables es concisa.

Diferencia de los coeficientes de correlación de Pearson cuadráticos.

[Ecuación 7]

$$\Delta R^2 = R_{\max}^2 - R_{\min}^2$$

Donde:

$\Delta R^2$  = diferencia de los coeficientes de correlación cuadráticos [adim.]

$R_{\max}^2$  = máximo coeficiente de correlación cuadrático [adim.]

$R_{\min}^2$  = coeficiente de correlación cuadrático de interés [adim.]

Continuación del apéndice 3.

Ejemplo: cálculo de la diferencia de los coeficientes de correlación de Pearson cuadráticos de la tinta no. 4 para la densidad.

$$\Delta R^2 = 0,981 - 0,9552$$

$$\Delta R^2 = 0,0258$$

Nota: en la sección de Datos calculados se hallan las tablas producto del análisis estadístico para las tintas formuladas a partir de colorantes naturales, de Corax P y de la tinta convencional, según el apéndice 4.

Apéndice 4. **Datos calculados**

**Variables para el cálculo de concentraciones de las muestras de tinta por medio de espectrofotometría visible**

Tinta	A	E (L/mol cm)	L (cm)	C (M)
1	5,66E-02	30	1	1,8873E-03
2	4,46E-02	30	1	1,4871E-03
3	1,09E-02	30	1	3,6367E-04
4	4,11E-02	30	1	1,3700E-03
5	1,58E-02	30	1	5,2667E-04
Blanco	0,34344	30	1	1,1448E-02
Comercial	0,33339	30	1	1,1113E-02

Fuente: elaboración propia, basado en la muestra de cálculo, ecuación 1.

**Datos de tiempo de secado por goteo de las muestras de tinta a T = 25 °C**

No. gotas	Tiempo de secado de las muestras (s) T = 25 °C						
	1	2	3	4	5	Blanco	Comercial
1	292	345	325	350	360	225	318
2	592	607	629	700	693	590	606
3	1 038	790	981	1 125	1 440	900	986
4	1 443	1 415	1 529	1 500	1 920	1 300	1 980
5	1 866	1 800	1 920	1 840	1 960	1 800	2 280

Fuente: elaboración propia, basado en los datos originales.

Continuación del apéndice 4.

**Datos de tiempo de secado por goteo de las muestras de tinta a T = 35 °C**

No. gotas	Tiempo de secado de las muestras (s) T = 35 °C						
	1	2	3	4	5	Blanco	Comercial
1	250	310	245	305	310	180	245
2	521	546	548	512	530	435	520
3	850	835	853	921	937	785	765
4	1 345	1 350	1 412	1 421	1 500	1 100	1 510
5	1 629	1 710	1 726	1 724	1 720	1 550	1 890

Fuente: elaboración propia, basado en los datos originales.

Continuación del apéndice 4.

**Determinación de la densidad según temperatura de la tinta a partir de colorantes naturales, volumen muestra = 10 mL**

Muestra	Temperatura (°C)	Masa (g)	Densidad (g/mL)
1	5	8,480	0,8480
	15	8,440	0,8440
	25	8,420	0,8420
	35	8,412	0,8412
	45	8,400	0,8400
2	5	9,440	0,9440
	15	9,420	0,9420
	25	9,400	0,9400
	35	9,390	0,9390
	45	9,360	0,9360
3	5	9,160	0,9160
	15	9,144	0,9144
	25	9,140	0,9140
	35	9,120	0,9120
	45	9,100	0,9100
4	5	9,780	0,9780
	15	9,760	0,9760
	25	9,740	0,9740
	35	9,680	0,9680
	45	9,660	0,9660
5	5	10,080	1,0080
	15	10,060	1,0060
	25	10,040	1,0040
	35	9,980	0,9980
	45	9,940	0,9940

Fuente: elaboración propia, basado en la muestra de cálculo, ecuación 2.

Continuación del apéndice 4.

**Determinación de la densidad según temperatura para la tinta a partir del colorante Corax P (muestra blanco) y la comercial, volumen muestra = 10 mL**

Muestra	Temperatura (°C)	Masa (g)	Densidad (g/mL)
Blanco	5	10,480	1,048
	15	10,460	1,046
	25	10,400	1,040
	35	10,380	1,038
	45	10,360	1,036
Comerc.	5	10,000	1,000
	15	9,980	0,998
	25	9,940	0,994
	35	9,880	0,988
	45	9,860	0,986

Fuente: elaboración propia, basado en la muestra de cálculo, ecuación 2.

Continuación del apéndice 4.

**Determinación de la viscosidad según temperatura de la tinta a partir de colorantes naturales**

Muestra	Temperatura (°C)	tiempo (s)	tiempo (min)	Densidad (g/mL)	Viscosidad (cP)
1	5	3,38	0,0563	0,8480	3,3163
	15	3,30	0,0550	0,8440	3,2456
	25	3,10	0,0517	0,8420	3,0525
	35	3,00	0,0500	0,8412	2,9554
	45	2,57	0,0428	0,8400	2,5336
2	5	3,45	0,0575	0,9440	3,1918
	15	3,38	0,0563	0,9420	3,1310
	25	3,30	0,0550	0,9400	3,0608
	35	3,15	0,0525	0,9390	2,9235
	45	2,90	0,0483	0,9360	2,6965
3	5	3,60	0,0600	0,9160	3,3894
	15	3,53	0,0588	0,9144	3,3268
	25	3,40	0,0567	0,9140	3,2051
	35	3,20	0,0533	0,9120	3,0203
	45	3,10	0,0517	0,9100	2,9295
4	5	3,80	0,0633	0,9780	3,4403
	15	3,60	0,0600	0,9760	3,2634
	25	3,50	0,0583	0,9740	3,1768
	35	3,30	0,0550	0,9680	3,0069
	45	3,10	0,0517	0,9660	2,8282
5	5	3,30	0,0550	1,0080	2,9299
	15	3,10	0,0517	1,0060	2,7559
	25	2,90	0,0483	1,0040	2,5815
	35	2,20	0,0367	0,9980	1,9661
	45	1,90	0,0317	0,9940	1,7024

Fuente: elaboración propia, basado en la muestra de cálculo, ecuación 3.

Continuación del apéndice 4.

**Determinación de la viscosidad según temperatura para la tinta a partir del colorante Corax P (muestra blanco) y la comercial**

Muestra	Temperatura (°C)	tiempo (s)	tiempo (min)	Densidad (g/mL)	Viscosidad (cP)
Blanco	5	4,5	0,0750	1,048	3,8903
	15	4,2	0,0700	1,046	3,6358
	25	3,8	0,0633	1,040	3,3028
	35	3,5	0,0583	1,038	3,0462
	45	3,1	0,0517	1,036	2,7017
Comerc.	5	3,7	0,0617	1,000	3,3023
	15	3,6	0,0600	0,998	3,2172
	25	3,5	0,0583	0,994	3,1360
	35	3,3	0,0550	0,988	2,9684
	45	3,0	0,0500	0,986	2,7020

Fuente: elaboración propia, basado en la muestra de cálculo, ecuación 3.

Continuación del apéndice 4.

**Determinación de la tensión superficial según temperatura de la tinta a partir de colorantes naturales**

Muestra	Temperatura (°C)	h (cm)	Densidad (g/mL)	$\gamma$ (dina/cm)
1	5	1,7	0,8480	35,3192
	15	1,65	0,8440	34,1187
	25	1,63	0,8420	33,6253
	35	1,60	0,8412	32,9750
	45	1,60	0,8400	32,9280
2	5	1,70	0,9440	39,3176
	15	1,70	0,9420	39,2343
	25	1,68	0,9400	38,6904
	35	1,65	0,9390	37,9591
	45	1,65	0,9360	37,8378
3	5	1,68	0,9160	37,7026
	15	1,68	0,9144	37,6367
	25	1,65	0,9140	36,9485
	35	1,63	0,9120	36,4207
	45	1,60	0,9100	35,6720
4	5	1,75	0,9780	41,9318
	15	1,73	0,9760	41,3678
	25	1,70	0,9740	40,5671
	35	1,65	0,9680	39,1314
	45	1,63	0,9660	38,5772
5	5	1,67	1,0080	41,2423
	15	1,65	1,0060	40,6676
	25	1,65	1,0040	40,5867
	35	1,62	0,9980	39,6106
	45	1,58	0,9940	38,4777

Fuente: elaboración propia, basado en la muestra de cálculo, ecuación 4.

Continuación del apéndice 4.

**Determinación de la tensión superficial según T para la tinta a partir del colorante Corax P y la comercial**

Muestra	Temperatura (°C)	h (cm)	Densidad (g/mL)	$\gamma$ (dina/cm)
Blanco	5	1,70	1,048	43,6492
	15	1,68	1,046	43,0534
	25	1,65	1,040	42,0420
	35	1,64	1,038	41,7068
	45	1,62	1,036	41,1188
Comerc.	5	1,68	1,000	41,1600
	15	1,65	0,998	40,3442
	25	1,60	0,994	38,9648
	35	1,60	0,988	38,7296
	45	1,55	0,986	37,4434

Fuente: elaboración propia, basado en la muestra de cálculo, ecuación 4.

**Intensidad del color para cada modelo impreso, según RGB**

Muestra	Máximo	Medio	Mínimo	S (%)
1	255	236	143	43,9216
2	253	253	169	32,9412
3	247	242	183	25,0980
4	242	234	130	43,9216
5	245	239	157	34,5098
Blanco	---	---	---	---
Comercial	40	40	40	0

Fuente: elaboración propia, basado en la muestra de cálculo, ecuación 5.

Continuación del apéndice 4.

**Costo por producción unitario de la tinta 1 a partir de colorantes naturales**

Muestra no. 1		
Materia Prima	Cantidad utilizado	Costo (Q)
Hoja tinta	4 - 6% w/w de colorante	0,80
Palo de Campeche	80 - 85% w/w de colorante	2,33
Residuo de comb. Bagazo	14 - 15% w/w de colorante	0,67
Aditivos	Subtotal	3,80
Agua destilada	70 - 75% v/v	1,88
Alcohol Isopropílico	3 - 5% v/v	0,55
Monoetilenglicol	15 - 20% v/v	68,50
Glicerina	0,1 - 1% v/v	0,10
Formol	0 - 1% v/v	0,48
Servicios estimados	Subtotal	71,52
Energía eléctrica	0,2 KWH	0,50
Agua potable	1 L	0,10
Otros	Subtotal	0,60
Filtro 2,5 µm	1	9,50
Filtro 20 µm	1	3,25
Papel mayordomo	2 hojas	0,50
Hojas bond	1 hoja	0,10
Mano de obra estimada	1 persona	25,00
Subtotal		38,35
Total		113,67

Fuente: elaboración propia, basado en la muestra de cálculo, ecuación 6.

Continuación del apéndice 4.

**Costo por producción unitario de la tinta 2 a partir de colorantes naturales**

Muestra no. 2		
Materia Prima	Cantidad utilizado	Costo (Q)
Hoja tinta	6 - 10% w/w de colorante	2,40
Palo de Campeche	77 - 80% w/w de colorante	4,67
Residuo de comb. Bagazo	12 - 14% w/w de colorante	1,33
Aditivos	Subtotal	8,40
Agua destilada	70 - 75% v/v	1,88
Alcohol Isopropílico	3 - 5% v/v	0,56
Monoetilenglicol	15 - 20% v/v	68,50
Glicerina	0,1 - 1% v/v	0,10
Formol	0 - 1% v/v	0,48
Servicios estimados	Subtotal	71,52
Energía eléctrica	0,2 KWH	0,50
Agua potable	1 L	0,10
Otros	Subtotal	0,60
Filtro 2,5 µm	1	9,50
Filtro 20 µm	1	3,25
Papel mayordomo	2 hojas	0,50
Hojas bond	1 hoja	0,10
Mano de obra estimada	1 persona	25,00
Subtotal		38,35
Total		118,27

Fuente: elaboración propia, basado en la muestra de cálculo, ecuación 6.

Continuación del apéndice 4.

**Costo por producción unitario de la tinta 3 a partir de colorantes naturales**

Muestra no. 3		
Materia Prima	Cantidad utilizado	Costo (Q)
Hoja tinta	20 - 23% w/w de colorante	4,00
Palo de Campeche	42 - 45% w/w de colorante	1,56
Residuo de comb. Bagazo	30 - 34% w/w de colorante	2,00
Aditivos	Subtotal	7,56
Agua destilada	70 - 75% v/v	1,88
Alcohol Isopropílico	3 - 5% v/v	0,56
Monoetilenglicol	15 - 20% v/v	68,50
Glicerina	0,1 - 1% v/v	0,10
Formol	0 - 1% v/v	0,48
Servicios estimados	Subtotal	71,52
Energía eléctrica	0,2 KWH	0,50
Agua potable	1 L	0,10
Otros	Subtotal	0,60
Filtro 2,5 $\mu$ m	1	9,50
Filtro 20 $\mu$ m	1	3,25
Papel mayordomo	2 hojas	0,50
Hojas bond	1 hoja	0,10
Mano de obra estimada	1 persona	25,00
Subtotal		38,35
Total		117,43

Fuente: elaboración propia, basado en la muestra de cálculo, ecuación 6.

Continuación del apéndice 4.

**Costo por producción unitario de la tinta 4 a partir de colorantes naturales**

Muestra no. 4		
Materia Prima	Cantidad utilizado	Costo (Q)
Hoja tinta	11 - 12% w/w de colorante	5,60
Palo de Campeche	78 - 82% w/w de colorante	7,78
Residuo de comb. Bagazo	9 - 11% w/w de colorante	1,60
Aditivos	Subtotal	14,98
Agua destilada	70 - 75% v/v	1,88
Alcohol Isopropílico	3 - 5% v/v	0,56
Monoetilenglicol	15 - 20% v/v	68,50
Glicerina	0,1 - 1% v/v	0,10
Formol	0 - 1% v/v	0,48
Servicios estimados	Subtotal	71,52
Energía eléctrica	0,2 KWH	0,50
Agua potable	1 L	0,10
Otros	Subtotal	0,60
Filtro 2,5 µm	1	9,50
Filtro 20 µm	1	3,25
Papel mayordomo	2 hojas	0,50
Hojas bond	1 hoja	0,10
Mano de obra estimada	1 persona	25,00
Subtotal		38,35
Total		124,85

Fuente: elaboración propia, basado en la muestra de cálculo, ecuación 6.

Continuación del apéndice 4.

**Costo por producción unitario de la tinta 5 a partir de colorantes naturales**

Muestra no. 5		
Materia Prima	Cantidad utilizado	Costo (Q)
Hoja tinta	0 - 2% w/w de colorante	0,00
Palo de Campeche	96 - 100% w/w de colorante	6,22
Residuo de comb. Bagazo	0 - 2% w/w de colorante	0,00
Aditivos	Subtotal	6,22
Agua destilada	70 - 75% v/v	1,88
Alcohol Isopropílico	3 - 5% v/v	0,56
Monoetilenglicol	15 - 20% v/v	68,50
Glicerina	0,1 - 1% v/v	0,10
Formol	0 - 1% v/v	0,48
Servicios estimados	Subtotal	71,52
Energía eléctrica	0,2 KWH	0,50
Agua potable	1 L	0,10
Otros	Subtotal	0,60
Filtro 2,5 µm	1	9,50
Filtro 20 µm	1	3,25
Papel mayordomo	2 hojas	0,50
Hojas bond	1 hoja	0,10
Mano de obra estimada	1 persona	25,00
Subtotal		38,35
Total		116,09

Fuente: elaboración propia, basado en la muestra de cálculo, ecuación 6.

Continuación del apéndice 4.

**Costo por producción unitario de la tinta a partir del colorante Corax P de la casa DEGUSSA**

Muestra blanco		
Materia Prima	Cantidad utilizado	Costo (Q)
Negro de Humo (Corax P)	4 - 5% w/w	37,50
Aditivos	Subtotal	37,50
Agua destilada	70 - 75% v/v	1,88
Alcohol Isopropílico	3 - 5% v/v	0,56
Monoetilenglicol	15 - 20% v/v	68,50
Glicerina	0,1 - 1% v/v	0,10
Formol	0 - 1% v/v	0,48
Servicios estimados	Subtotal	71,52
Energía eléctrica	0,2 KWH	0,50
Agua potable	1 L	0,10
Otros	Subtotal	0,60
Filtro 2,5 µm	1	9,50
Filtro 20 µm	1	3,25
Papel mayordomo	2 hojas	0,50
Hojas bond	1 hoja	0,10
Mano de obra estimada	1 persona	25,00
Subtotal		38,35
Total		147,37

Fuente: elaboración propia, basado en la muestra de cálculo, ecuación 6.

Continuación del apéndice 4.

Datos calculados del análisis estadístico.

**Análisis estadístico del gráfico de tiempo de secado a T = 25 °C**

Muestra	Modelo de regresión lineal	R <sup>2</sup>	ΔR <sup>2</sup>	Intervalo de validez (gotas)
1	t = 399,9n - 153,5	0,9966	0,0021	[1 - 5]
2	t = 371,8n - 124	0,9603	0,0384	[1 - 5]
3	t = 409n - 150,2	0,9896	0,0091	[1 - 5]
4	t = 378n - 31	0,9987	0	[1 - 5]
5	t = 442,7n - 53,5	0,9384	0,0603	[1 - 5]
B	t = 386n - 195	0,9921	0,0066	[1 - 5]
C	t = 529,8n - 355,4	0,9529	0,0458	[1 - 5]

Fuente: elaboración propia, basado en Microsoft Excel 2010 y la ecuación 7.

**Análisis estadístico del gráfico de tiempo de secado a T = 35 °C**

Muestra	Modelo de regresión lineal	R <sup>2</sup>	ΔR <sup>2</sup>	Intervalo de validez (gotas)
1	t = 358,2n - 155,6	0,9898	0,0013	[1 - 5]
2	t = 360,4n - 131	0,9813	0,0098	[1 - 5]
3	t = 382,6n - 191	0,9868	0,0043	[1 - 5]
4	t = 374,7n - 147,5	0,9845	0,0066	[1 - 5]
5	t = 379n - 137,6	0,9776	0,0135	[1 - 5]
B	t = 340,5n - 211,5	0,9911	0	[1 - 5]
C	t = 428n - 298	0,9607	0,0304	[1 - 5]

Fuente: elaboración propia, basado en Microsoft Excel 2010 y la ecuación 7.

Continuación del apéndice 4.

### Análisis estadístico del gráfico de densidad

Muestra	Modelo de regresión lineal	R <sup>2</sup>	ΔR <sup>2</sup>	Intervalo de validez (°C)
1	$\rho = -0,0001T + 0,9169$	0,9009	0,0801	[5 - 45]
2	$\rho = -0,0002T + 0,945$	0,9810	0	[5 - 45]
3	$\rho = -0,0001T + 0,9169$	0,9614	0,0196	[5 - 45]
4	$\rho = -0,0003T + 0,9804$	0,9552	0,0258	[5 - 45]
5	$\rho = -0,0004T + 1,011$	0,9529	0,0281	[5 - 45]
B	$\rho = -0,0003T + 1,0496$	0,9552	0,0258	[5 - 45]
C	$\rho = -0,0004T + 1,0027$	0,9704	0,0106	[5 - 45]

Fuente: elaboración propia, basado en Microsoft Excel 2010 y la ecuación 7.

### Análisis estadístico del gráfico de viscosidad

Muestra	Modelo de regresión lineal	R <sup>2</sup>	ΔR <sup>2</sup>	Intervalo de validez (°C)
1	$\mu = -0,0186T + 3,4846$	0,9050	0,0925	[5 - 45]
2	$\mu = -0,012T + 3,3003$	0,9226	0,0749	[5 - 45]
3	$\mu = -0,0123T + 3,4808$	0,9758	0,0217	[5 - 45]
4	$\mu = -0,0148T + 3,5133$	0,9892	0,0083	[5 - 45]
5	$\mu = -0,0324T + 3,1983$	0,9447	0,0528	[5 - 45]
B	$\mu = -0,0297T + 4,057$	0,9975	0	[5 - 45]
C	$\mu = -0,0145T + 3,4275$	0,9311	0,0664	[5 - 45]

Fuente: elaboración propia, basado en Microsoft Excel 2010 y la ecuación 7.

Continuación del apéndice 4.

**Análisis estadístico del gráfico de tensión superficial**

Muestra	Modelo de regresión lineal	R <sup>2</sup>	ΔR <sup>2</sup>	Intervalo de validez (gotas)
1	$\gamma = -0,0593T + 35,275$	0,9049	0,0724	[5 - 45]
2	$\gamma = -0,0423T + 39,667$	0,9356	0,0417	[5 - 45]
3	$\gamma = -0,0528T + 38,195$	0,9524	0,0249	[5 - 45]
4	$\gamma = -0,0895T + 42,551$	0,9751	0,0022	[5 - 45]
5	$\gamma = -0,0659T + 41,764$	0,9163	0,061	[5 - 45]
B	$\gamma = -0,0641T + 43,916$	0,9773	0	[5 - 45]
C	$\gamma = -0,0905T + 41,59$	0,9710	0,0063	[5 - 45]

Fuente: elaboración propia, basado en Microsoft Excel 2010 y la ecuación 7.

Apéndice 5. **Datos originales**

**Masa para la molienda de materia prima**

Masa de la Materia prima (g)		
Hoja tinta	Palo de Campeche	Residuo de combustión
25	225	37,5

Fuente: elaboración propia.

**Masa de materia prima para la proporción colorante natural/Corax P – agua destilada**

Tinta no.	Proporción (g)			
	Colorante natural			Agua
	Hoja tinta	Palo de c.	Residuos	
1	0,5 - 1,1	13 - 16	2,2 - 2,8	300 - 425
2	2,7 - 3,7	25 - 31	4,5 - 6	300 - 425
3	4,1 - 5,1	10 - 15	7 - 8,5	300 - 425
4	6 - 8	45 - 53	5,3 - 6,8	300 - 425
5	0	24 - 34	0	300 - 425
Blanco	Colorante Corax P			
	25			300 - 425

Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 5.

### Volumen de los aditivos a las muestras (% v/v)

Tinta no.	1	2	3	4	5	Blanco
Agua destilada	70 - 75	70 - 75	70 - 75	70 - 75	70 - 75	70 - 75
Monoetilenglicol	15 - 20	15 - 20	15 - 20	15 - 20	15 - 20	15 - 20
Alcohol Isopropílico	3 - 5	3 - 5	3 - 5	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Glicerina	0,1 - 1	0,1 - 1	0,1 - 1	0,1 - 1	0,1 - 1	0,1 - 1
Formol	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1

Fuente: elaboración propia.

### Datos del espectrofotómetro para cada muestra de la tinta

Muestra	$\lambda$ (nm)	$A_{\lambda}$ (adim.)
1	500	5,66E-02
2	525	4,46E-02
3	450	1,09E-02
4	600	4,11E-02
5	624	1,58E-02
Blanco	657	0,34344
Comercial	678	0,33339

Fuente: elaboración propia.

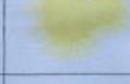
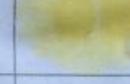
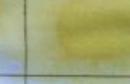
Dilución de muestra = 1:2000

$\epsilon_{\lambda}$  = 30 L/mol cm

L = 1 cm

Continuación del apéndice 5.

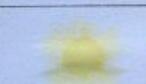
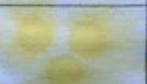
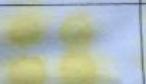
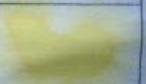
**Prueba del tiempo de secado para cada muestra a T = 25 °C**

Muestra	1 gota	2 gotas	3 gotas	4 gotas	5 gotas
1					
	t = <u>292</u> s	t = <u>592</u> s	t = <u>1038</u> s	t = <u>1448</u> s	t = <u>1866</u> s
2					
	t = <u>345</u> s	t = <u>607</u> s	t = <u>790</u> s	t = <u>1415</u> s	t = <u>1800</u> s
3					
	t = <u>325</u> s	t = <u>629</u> s	t = <u>981</u> s	t = <u>1529</u> s	t = <u>1920</u> s
4					
	t = <u>350</u> s	t = <u>700</u> s	t = <u>1125</u> s	t = <u>1600</u> s	t = <u>1840</u> s
5					
	t = <u>360</u> s	t = <u>693</u> s	t = <u>1440</u> s	t = <u>1920</u> s	t = <u>1960</u> s
Blanco					
	t = <u>225</u> s	t = <u>590</u> s	t = <u>900</u> s	t = <u>1300</u> s	t = <u>1800</u> s
Comercial					
	t = <u>318</u> s	t = <u>606</u> s	t = <u>986</u> s	t = <u>1980</u> s	t = <u>2280</u> s

Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 5.

**Prueba del tiempo de secado para cada muestra a T = 35 °C**

Muestra	1 gota	2 gotas	3 gotas	4 gotas	5 gotas
1					
	t = <u>250</u> s	t = <u>521</u> s	t = <u>850</u> s	t = <u>1345</u> s	t = <u>1629</u> s
2					
	t = <u>310</u> s	t = <u>546</u> s	t = <u>835</u> s	t = <u>1350</u> s	t = <u>1710</u> s
3					
	t = <u>245</u> s	t = <u>548</u> s	t = <u>853</u> s	t = <u>1412</u> s	t = <u>1726</u> s
4					
	t = <u>305</u> s	t = <u>512</u> s	t = <u>921</u> s	t = <u>1421</u> s	t = <u>1724</u> s
5					
	t = <u>310</u> s	t = <u>530</u> s	t = <u>937</u> s	t = <u>1500</u> s	t = <u>1720</u> s
Blanco					
	t = <u>180</u> s	t = <u>435</u> s	t = <u>785</u> s	t = <u>1100</u> s	t = <u>1550</u> s
Comercial					
	t = <u>245</u> s	t = <u>520</u> s	t = <u>765</u> s	t = <u>1510</u> s	t = <u>1890</u> s

Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 5.

**Determinación de la densidad según temperatura de la tinta a partir de colorantes naturales**

Muestra	Temperatura (°C)	Masa (g)
1	5	8,480
	15	8,440
	25	8,420
	35	8,412
	45	8,400
2	5	9,440
	15	9,420
	25	9,400
	35	9,390
	45	9,360
3	5	9,160
	15	9,144
	25	9,140
	35	9,120
	45	9,100
4	5	9,780
	15	9,760
	25	9,740
	35	9,680
	45	9,660
5	5	10,080
	15	10,060
	25	10,040
	35	9,980
	45	9,940

Fuente: elaboración propia.

Volumen de muestra = 10 mL

Continuación del apéndice 5.

**Determinación de la densidad según temperatura para la tinta a partir del colorante Corax P (muestra blanco) y la comercial**

Muestra	Temperatura (°C)	Masa (g)
Blanco	5	1,048
	15	1,046
	25	1,040
	35	1,038
	45	1,036
Comerc.	5	1,000
	15	0,998
	25	0,994
	35	0,988
	45	0,986

Fuente: elaboración propia.

Volumen de muestra = 10 mL

Continuación del apéndice 5.

**Determinación de la viscosidad según temperatura de la tinta a partir de colorantes naturales**

Muestra	Temperatura (°C)	tiempo (s)
1	5	3,38
	15	3,30
	25	3,10
	35	3,00
	45	2,57
2	5	3,45
	15	3,38
	25	3,30
	35	3,15
	45	2,90
3	5	3,60
	15	3,53
	25	3,40
	35	3,20
	45	3,10
4	5	3,80
	15	3,60
	25	3,50
	35	3,30
	45	3,10
5	5	3,30
	15	3,10
	25	2,90
	35	2,20
	45	1,90

Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 5.

**Determinación de la viscosidad según temperatura para la tinta a partir del colorante Corax P (muestra blanco) y la comercial**

Muestra	Temperatura (°C)	tiempo (s)
Blanco	5	4,5
	15	4,2
	25	3,8
	35	3,5
	45	3,1
Comerc.	5	3,7
	15	3,6
	25	3,5
	35	3,3
	45	3,0

Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 5.

**Determinación de la tensión superficial según temperatura de la tinta a partir de colorantes naturales**

Muestra	Temperatura (°C)	h (cm)
1	5	1,70
	15	1,65
	25	1,63
	35	1,60
	45	1,60
2	5	1,70
	15	1,70
	25	1,68
	35	1,65
	45	1,65
3	5	1,68
	15	1,68
	25	1,65
	35	1,63
	45	1,60
4	5	1,75
	15	1,73
	25	1,70
	35	1,65
	45	1,63
5	5	1,67
	15	1,65
	25	1,65
	35	1,62
	45	1,58

Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 5.

**Determinación de la tensión superficial según temperatura para la muestra blanco y la comercial**

Muestra	Temperatura (°C)	h (cm)
Blanco	5	1,70
	15	1,68
	25	1,65
	35	1,64
	45	1,62
Comerc.	5	1,68
	15	1,65
	25	1,60
	35	1,60
	45	1,55

Fuente: elaboración propia.

**Determinación de la temperatura de ebullición**

Muestra	Temperatura de ebullición (°C)
1	94,0
2	94,3
3	94,3
4	94,5
5	94,5
Blanco	96,5
Comercial	95,5

Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 5.

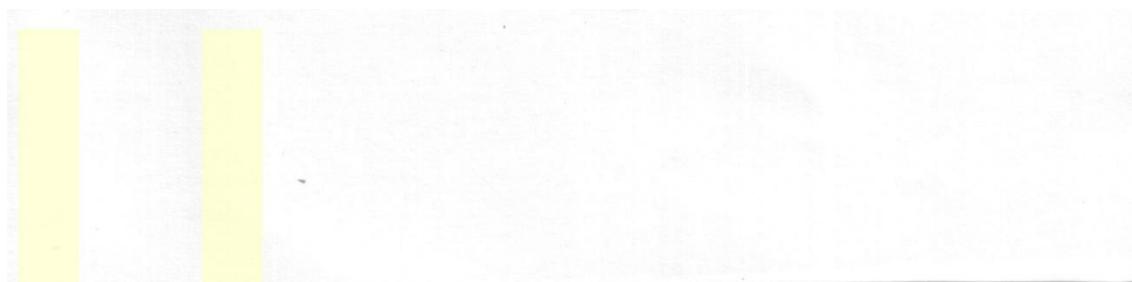
A continuación, las pruebas de impresión en orden:

### **Diseño de la prueba de impresión de la tinta no. 1**



Fuente: mantenimiento, prueba de los inyectores. Propiedades de Canon Inkjet iP 1600.  
Visto en Microsoft Office 2007.

### **Diseño de la prueba de impresión de la tinta no. 2**



Fuente: mantenimiento, prueba de los inyectores. Propiedades de Canon Inkjet iP 1600.  
Visto en Microsoft Office 2007.

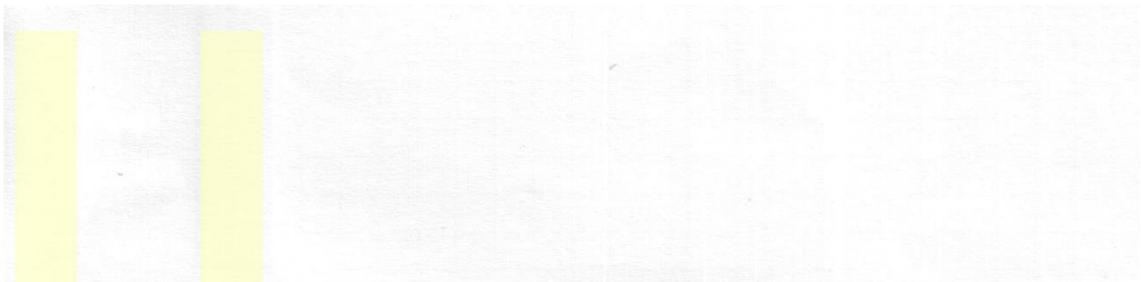
Continuación del apéndice 5.

### **Diseño de la prueba de impresión de la tinta no. 3**



Fuente: mantenimiento, prueba de los inyectores. Propiedades de Canon Inkjet iP 1600.  
Visto en Microsoft Office 2007.

### **Diseño de la prueba de impresión de la tinta no. 4**



Fuente: mantenimiento, prueba de los inyectores. Propiedades de Canon Inkjet iP 1600.  
Visto en Microsoft Office 2007.

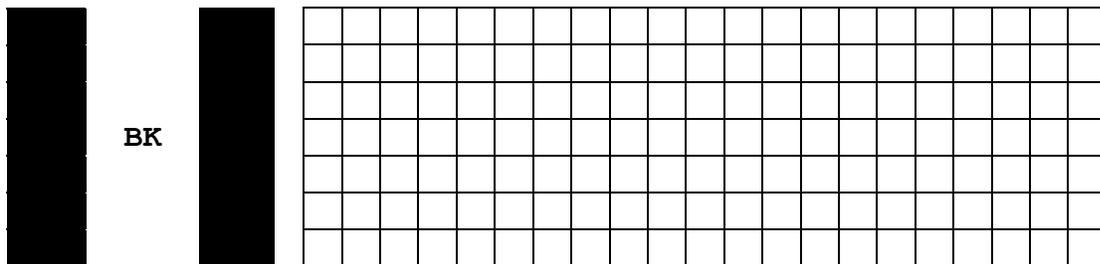
Continuación del apéndice 5.

### Diseño de la prueba de impresión de la tinta no. 5



Fuente: mantenimiento, prueba de los inyectores. Propiedades de Canon Inkjet iP 1600.  
Visto en Microsoft Office 2007.

### Diseño de la prueba de impresión de la tinta comercial

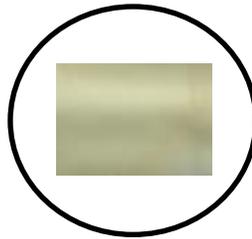


Fuente: mantenimiento, prueba de los inyectores. Propiedades de Canon Inkjet iP 1600.  
Visto en Microsoft Office 2007.

Continuación del apéndice 5.

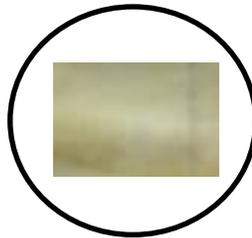
A continuación, aplicación directa de las tintas sobre la hoja de papel:

**Aplicación directa de la tinta no. 1**



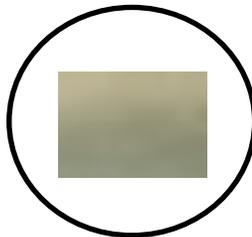
Fuente: elaboración propia.

**Aplicación directa de la tinta no. 2**



Fuente: elaboración propia.

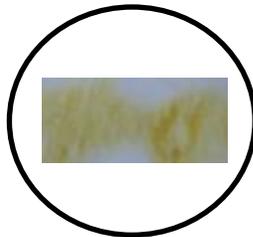
**Aplicación directa de la tinta no. 3**



Fuente: elaboración propia.

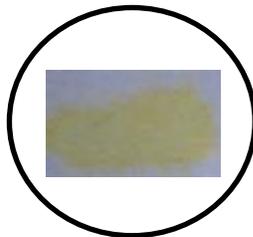
Continuación del apéndice 5.

**Aplicación directa de la tinta no. 4**



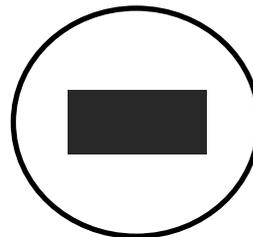
Fuente: elaboración propia.

**Aplicación directa de la tinta no. 5**



Fuente: elaboración propia.

**Aplicación directa de la tinta comercial**



Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 5.

**Valores RGB de las tintas**

Muestra	R	G	B
1	236	255	143
2	253	253	169
3	242	247	183
4	234	242	130
5	239	245	157
Blanco	---	---	---
Comercial	40	40	40

Fuente: elaboración propia, basado en la paleta de colores de Microsoft Office 2007.