



# **INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA**

---

## **“DESARROLLO DE UNA TÉCNICA ANALÍTICA PARA LA DETERMINACIÓN DE CITRATOS EN JUGO CONCENTRADO DE NARANJA”**

**TESIS PROFESIONAL**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERO BIOQUÍMICO**

**P R E S E N T A**

**IRIS STEFFI ARROYO GARCÍA**

**ASESOR**

**DR. LUIS MEJÍA MACARIO**

**COASESOR**

**DR. ARTURO CABRERA HERNÁNDEZ**

**MISANTLA, VER.**

**MAYO, 2022**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

FECHA: 17 de Mayo de 2022.

ASUNTO: **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN  
DE TESIS PROFESIONAL.**

**A QUIEN CORRESPONDA:**

Por medio de la presente hago constar que el (la) C:

**IRIS STEFFI ARROYO GARCÍA**

---

pasante de la carrera de INGENIERÍA BIOQUÍMICA con No. de Control 172T0427 ha cumplido satisfactoriamente con lo estipulado por el **Manual de Procedimientos para la Obtención del Título Profesional de Licenciatura** bajo la opción Titulación Integral (Tesis Profesional)

Por tal motivo se **Autoriza** la impresión del Tema titulado:

**“DESARROLLO DE UNA TÉCNICA ANALÍTICA PARA LA DETERMINACIÓN  
DE CITRATOS EN JUGO CONCENTRADO DE NARANJA”**

Dándose un plazo no mayor de un mes de la expedición de la presente a la solicitud del Acto de Recepción para la obtención del Título Profesional.

ATENTAMENTE

MII. GRACIELA GUADALUPE AGUILERA ALVAREZ  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



Archivo.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado con todo mi cariño y amor a mis padres y hermana, quienes han puesto su confianza en mí, brindándome consejos, fuerza, comprensión y amor. Gracias por creer en mí y hacer que este sueño se cumpla.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme las fuerzas por seguir adelante cada día, nunca me abandonaste, cuando más me sentía sola siempre estuviste presente.

A Mi Madre, gracias por estar conmigo, me diste las fuerzas para llegar a esta meta, me enseñaste a ser una buena hija, me brindaste sonrisas sinceras y siempre estuviste a mi lado, no sabes lo mucho que te agradezco, te mereces tanto y yo tengo tan poco, pero te prometo que te voy hacer sentir tan orgullosa de mi como yo lo estoy de ti. Te amo y te admiro mucha madre mía.

A Mi Padre, gracias por tus consejos y platicas, siempre me gusto escuchar tus anécdotas y sé que a pesar de que tuvimos momentos muy difíciles, tus abrazos y tus palabras llenas de sabiduría estarán presentes para toda la vida, y no importa la edad que tenga siempre necesitare a mi padre. Atentamente tu pelonetas.

A Mi Hermana, tú fuiste mi mayor motivo para salir adelante, gracias por tus abrazos, tus risas, tu cariño y tu compañía, Dios te cuide y proteja siempre. Te amo, siempre estaré orgullosa de ti, eres mi pequeño bodoque.

A Mochi te quedabas conmigo a altas horas de la noche con tal de que no tuviera miedo, te quiero mi pequeña compañera.

A Tía Sara, Tío Ricardo, Tía Rufi, Rosita y Tío Julián, quienes estuvieron desde la infancia, confiando en que algún día cumpliría este sueño, me brindaron risas, cariño, su fe, su generosidad y su incansable ayuda en todo momento.

A mis Abuelitos, quienes me dieron cariño, amor y me enseñaron lo que es trabajar duro para conseguir lo que te propones.

A cada uno de los miembros de la Familia García, por ser mi ejemplo a seguir y brindarme su apoyo y su amor.

A la Familia Arroyo, por darme todo su apoyo y quererme sobre todas las cosas.

A Dante, mi novio, que con su apoyo incondicional hizo que alcanzara esta meta, siempre me llenaste de palabras de aliento, a través de tus consejos, amor, cariño y paciencia, me ayudaste a poder salir adelante en esos días cuando nadie creía en mí, tú siempre estuviste allí, me brindaste paz y tranquilidad, empezamos juntos este sueño y juntos lo terminaremos. Te Amo.

A mis mejores amigos Josué y Jafet por tantos momentos felices a lo largo de nuestra formación académica. Les deseo mucho éxito en sus proyectos futuros amigos.

A mis amigos Albert y Zuriel, quienes me orientaron cuando llegue al Instituto, me brindaron consejos y una buena amistad, me hicieron ver que todo lo que deseas, tarde o temprano Dios te lo recompensara, los quiero mis amigos Ingenieros Civiles.

A Jair, mi mejor amigo quien con su amistad, cariño y buenas vibras, me inspiro para continuar con este trabajo, te agradezco mi estimado por tus buenos deseos, tus palabras y sobre todo por confiar en mí.

Agradezco a mi jefa de carrera y docentes de la academia de Ingeniería Bioquímica, el Doctor Luis, el Doctor Arturo, el Doctor Gustavo, el Maestro Oswaldo, el Licenciado Leoncio, la Ingeniera Heidi, la Doctora Cristina y la Ingeniera Irma, por compartirme sus conocimientos, enseñarme cada una de las asignaturas de la carrera, por su paciencia y rectitud como docentes.

Al Cuerpo Académico de la Carrera de Ingeniería Bioquímica, les agradezco el compartir sus conocimientos para enriquecerme aún más, brindarme su tiempo, disponibilidad en el trabajo y confianza.

A mi asesor de tesis el Doctor Luis Mejía Macario, por haberme guiado y enseñado, no solo en la elaboración de este trabajo de titulación, si no a lo largo de mi carrera universitaria, brindándome apoyo, confianza, consejos y amistad para poder seguir cultivando mis valores y desarrollarme profesionalmente. Recordare siempre sus sabias palabras: “Sea Feliz”.

A mi coasesor el Doctor Arturo Cabrera Hernández, por haberme brindado su disponibilidad para la elaboración de este trabajo, por compartirme sus conocimientos, le agradezco su comprensión y su buena forma de enseñarme a lo largo de mi formación profesional.

A Cítricos EX de S.A de C.V por permitirme realizar mi trabajo en sus instalaciones, compartiéndome técnicas y conocimientos para enriquecerme.

A mi asesor de la empresa el Ing. Vicente Luis Palacios, quien me orientó, apoyó y aconsejó durante el desarrollo del trabajo, para poder obtener resultados favorables, brindándome su confianza para poder culminar con éxito la meta propuesta.

Al personal de Laboratorio de Calidad y Microbiología que prestaron su tiempo y compartieron sus conocimientos, cumpliéndose con éxito los objetivos planteados en este trabajo.

## **RESUMEN**

El presente trabajo propone una metodología para atender un problema ocurrido en la empresa CITRICOS EX de S.A de C.V ubicada en el Municipio de Martínez de la Torre, Veracruz, un defecto de calidad, en donde el jugo concentrado de naranja mostró un contenido sólido identificado como Citrato, el cual no se tenía la certeza de qué tipo de sustancia era y mucho menos un procedimiento técnico para poder identificarlo, analizarlo y tener una estimación de la cantidad que se podría presentar en un Lote.

## **ABSTRACT**

This paper proposes a methodology to address a problem that occurred in the company CITRICOS EX de S.A de C.V located in the Municipality of Martínez de la Torre, Veracruz, a quality defect, where the concentrated orange juice showed a solid content identified as Citrate, which was not certain of what type of substance it was, much less a technical procedure to be able to identify it, analyze it and have an estimate of the amount that could be presented in a batch.

# ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	14
<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>15</b>
1.1 PLANTEAMIENTO.....	15
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	16
1.3 OBJETIVOS .....	17
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
1.4 HIPÓTESIS .....	18
1.5 ALCANCES .....	19
1.6 LIMITACIONES .....	20
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>21</b>
2.1 CÍTRICOS .....	21
2.1.2 FISIOLOGÍA DE LOS CÍTRICOS .....	21
2.1.3 FISIOLOGÍA DE LA NARANJA .....	22
2.2 NARANJA TARDÍA.....	23
2.3 JUGO DE NARANJA .....	24
2.4 COMPONENTES DEL JUGO DE NARANJA.....	25
2.5 CONCENTRACIONES DE ÁCIDOS ORGÁNICOS.....	25
2.6 PRINCIPALES MINERALES REPORTADOS EN JUGO DE NARANJA .....	25
2.7 PRESENCIA DE CALCIO EN LOS CÍTRICOS .....	27
2.8 VIDA DE ANAQUEL DEL JUGO DE NARANJA.....	28
2.9 CAMBIOS QUE SUFRE EL JUGO DURANTE EL ALMACENAJE.....	28
2.10 TÉCNICAS QUE SE UTILIZAN COMUNMENTE PARA DETERMINAR EN EL JUGO LOS NIVELES DE ÁCIDO CÍTRICO Y CITRATO.....	30



2.11 CITRATO .....	34
2.11.1 CITRATO DE CALCIO .....	34
2.11.2 CITRATO HIGROSCOPICO.....	34
<b>CAPÍTULO III: DESARROLLO .....</b>	<b>37</b>
3.1 TÉCNICAS DE LABORATORIO .....	37
a) 3.1.1 Técnica de laboratorio para la identificación de principios de formación de citrato de calcio en jugo concentrado de naranja con Alto porcentaje de acidez. ....	37
b) 3.1.2 Técnica de laboratorio para identificación de citratos en jugo concentrado de naranja rehidratado al 70% agua y 30% alcohol implementando secado y pesaje de citrato obtenido de 150 gr. de muestra de jugo concentrado de naranja. ....	38
c) 3.1.3 Técnica de laboratorio recristalización de citratos en jugo concentrado de naranja. ....	40
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....</b>	<b>42</b>
4.1 RESULTADOS .....	42
a) 4.1.1 Técnica de laboratorio para la identificación de principios de formación de citrato de calcio en jugo concentrado de naranja del año 2021. ....	42
b) 4.1.2 Establecimiento de una ecuación empírica para relacionar el porcentaje de citratos en función del volumen de jugo concentrado .....	46
c) 4.1.3 Técnica de laboratorio recristalización de citratos en jugo concentrado de naranja.....	48
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.....</b>	<b>55</b>
BIBLIOGRAFÍA .....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Fisiología de la naranja.....	22
<b>Figura 2.</b> Composición mineral (ppm) de diferentes zumos de naranja. ....	27
<b>Figura 3.</b> Cromatograma de mezcla estándar de ácidos orgánicos; ultravioleta a 210 nm. .....	31
<b>Figura 4.</b> Contenido de ácidos orgánicos promedio resultante para cuatro jugos de frutas analizados. Todas las muestras se realizaron por triplicado.....	32
<b>Figura 5.</b> Citrato de calcio, observado en el microscopio en aumento de 40x, expuesto a una alta humedad presenta una apariencia húmeda, gelatinosa, también una pigmentación amarillenta y muy brillante. ....	35
<b>Figura 6.</b> Citrato de calcio, observado en el microscopio en aumento de 40x, expuesto a una baja humedad presenta una apariencia más seca y dura, además de que la pigmentación es opaca. ....	35
<b>Figura 7.</b> Principios de formación de citrato, observado en el microscopio óptico en aumento de 40X, en el cual se puede observar que conserva su pigmentación amarillenta, parece una capa delgada de citrato. ....	45
<b>Figura 8.</b> Principios de formación de citrato, observado en el microscopio óptico en aumento de 40X, en el cual se observa en forma ovalada, con pigmentación más amarillenta esto por el jugo concentrado, parece una capa más gruesa de citrato.....	45
<b>Figura 9.</b> Mismo citrato de la figura 7. Al paso de los días el citrato pierde pigmentación, se pone más claro y cambia un poco su forma, ahora es una capa delgada.....	45
<b>Figura 10.</b> Al paso de los días la pigmentación de otros citratos se va perdiendo de amarillo a una tonalidad más clara, dejando ver sus tejidos y estructura.....	45
<b>Figura 11.</b> Citrato de calcio recolectado, implementando la técnica de laboratorio de identificación de citratos en jugo concentrado de naranja al 70% agua y 30% alcohol implementando secado y pesaje de citrato obtenido de 150 gr. de muestra de jugo.....	47

**Figura 12.** *Citrato de calcio, observado en el microscopio en aumento de 40X, después del secado se analizó en el microscopio óptico, su apariencia presenta una pigmentación opaca, pero su textura es dura, lisa y de forma ovalada.....47*

**Figura13.** *Citrato de calcio, recolectado, con pigmentación amarillenta debido a que presenta restos de jugo concentrado de naranja.....48*

**Figura 14.** *Citrato de calcio, observado en el microscopio óptico en aumento de 40X, antes de la recristalización, en donde se aprecia su forma ovalada, dura y su textura es lisa.....48*

**Figura 15.** *Citrato de Calcio en condiciones Normales Recristalizado, debido a que posee restos de Jugo concentrado hace que se vea amarillento.....49*

**Figura 16AB.** *Recristalización de citrato, observado en el microscopio óptico en aumento de 40X, en condiciones normales, debido a que el citrato de calcio absorbe el jugo concentrado, se observa pigmentación amarillenta, sin embargo, se aprecia la recristalización en forma de ramificaciones.....49*

**Figura 17 AB.** *Comparando con el segundo microscopio, observado en el microscopio en aumento de 10X, los cristales se logran apreciar de mejor manera, los cristales poseen forma de ramificaciones.....50*

**Figura 18.** *Citrato de calcio preservado en alcohol sin impurezas, el citrato fue sometido al alcohol durante 2 meses para poder retirarle los restos de Jugo concentrado que aún conservaba.....51*

**Figura 19.** *Citrato de calcio sin Impurezas preservado en alcohol, observado en el microscopio en aumento de 40x, antes de la recristalización, en donde se observa partes blanquecinas en la mayoría de su estructura, además de tener una apariencia lechosa.....51*

**Figura 20.** *Recristalización de citrato en condiciones libre de impurezas, debido a que se preservó en alcohol.....52*

**Figura 21ABCDEF.** Recristalización de citrato en condiciones libre de impurezas, observado en el microscopio óptico en aumento de 40x, debido a que se preservó en alcohol, debido a que está libre de jugo concentrado, se puede apreciar mejor las ramificaciones y formación de cristales del citrato, en donde se aprecia como en forma de raíces y ramas.....53

**Figura 22.** Recristalización de citrato en condiciones libre de impurezas, observado en el microscopio compuesto en aumento de 10X, debido a que se preservó en alcohol, se puede observar apariencia blanquecina, los cortes y ramificaciones se observan más, el citrato tiene característica en ramificación cuando es recristalización, pero en su forma sólida posee una apariencia de canica.....54

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Contenido de macronutrientes en la pulpa (P) y cascara (C) en la naranja.....	26
<b>Tabla 2</b> Contenido de Calcio y absorción fraccional de 500 mg de calcio permitidos con un alimento. ....	30
<b>Tabla 3</b> Presencia de Ácido Cítrico .....	33
<b>Tabla 4.</b> Datos de lotes evaluados, considerando una presencia de mayor a menor acidez con el número de citratos correspondientes en cada uno. ....	43
<b>Tabla 5.</b> Resultados de la técnica para la Identificación de Citrato en Jugo Concentrado de Naranja, en donde el % de citratos se obtuvo por el peso de la muestra fresca entre el peso del citrato aislado de ella. ....	46

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1</b> Cálculo de valor en % de citrato.....	46
---	----

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

**Grafica 1.** *Gráfica resultado 1, de valores de acidez por lote evaluados en función del número de citratos obtenidos para cada lote analizado. Se observa una relación directamente proporcional entre el porcentaje (%) de acidez y el número de citratos. Se presenta con línea azul (—) el porcentaje de acidez, en línea color naranja (—) los citratos obtenidos..... 44*

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enfoca en la determinación una metodología a nivel laboratorio para cuantificar la cantidad de cristales denominados citratos, los cuales pueden o no estar presentes en el jugo concentrado de naranja según la madurez de la fruta que se utilice para la fabricación.

La presencia de los cristales de citrato fue identificada por la notificación realizada de un cliente, debido a la obstrucción de sus tuberías durante el procesamiento del concentrado jugo de naranja. Por lo anterior, se propuso iniciar una investigación para atender esta situación. Para la estructuración de una metodología de estudio, se requiere de una serie de técnicas, apoyadas con información bibliográfica y utilizando los equipos disponibles de laboratorio, que puedan brindar los elementos necesarios para generar una buena técnica efectiva y confiable.

Las pruebas fueron realizadas en la empresa CITRICOS EX S.A de C.V, ubicada en el Municipio de Martínez de la Torre, Veracruz, específicamente fueron realizadas dentro del laboratorio de calidad y microbiología, logrando obtener una técnica analítica que permite cuantificar el porcentaje (%) de citrato presente en el jugo concentrado.

Conforme se fueron evaluando una serie de muestras, aprovechando conocimientos previos estudiados durante la carrera, se mantuvieron los cuidados recomendados de seguridad e higiene debido a que es un producto de consumo humano, además de proponer una solución para que los clientes no tuvieran problemas con respecto al tapado de las tuberías durante la filtración del jugo concentrado de naranja.

# **CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1 PLANTEAMIENTO**

La presencia de los cristales de citrato ha generado una preocupación de interés principal para la calidad del jugo concentrado de naranja que fabrica CÍTRICOS EX, S.A de C.V, debido a que este defecto puede generar problemas en la productividad de sus clientes según sea el método de vaciado del jugo utilizado por cada cliente. Este tipo de defecto generó el taponamiento de sus filtros durante el vaciado de jugo para la elaboración de la formulación de su producto. Aunque actualmente en la industria no se cuenta con notificación de quejas, estas pudieran darse debido a los paros de procesos que pudieran generarse con los clientes o en un contexto más grave, el rechazo del producto por el desconocimiento de este compuesto natural que se forma en el jugo. Actualmente CITREX, no cuenta con una técnica de determinación de citratos en el jugo concentrado, por lo cual el proyecto tiene como finalidad desarrollar una serie de técnicas para definir la causa de la formación de los cristales de citrato y conocer su causa raíz para proponer un método de reducción o cómo evitar el problema durante la operación.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

El desarrollo de una técnica a nivel laboratorio para la identificación y cuantificación de citratos, pretende analizar la causa raíz del cristal, debido a que generara un apoyo a la empresa y poder saber su caracterización más detallada. Las pruebas realizadas durante la elaboración de este trabajo, servirán para poder tener una estimación de la cantidad de citratos dentro de los lotes que las empresas requieran o necesiten para poder hacer su correcto procesamiento de su producto.



## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una metodología a nivel laboratorio para determinar la concentración de citratos presentes en el jugo concentrado de naranja.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar una investigación bibliográfica sobre la presencia de citratos en jugos de naranja.
- Estudiar el proceso de elaboración del concentrado de jugo de naranja en la empresa CITRICOS EX de S.A de C.V.
- Desarrollar las técnicas de cuantificación de citratos presentes en el jugo de naranja a nivel laboratorio.
- Determinar las técnicas de muestreo en los concentrados de jugo de los diferentes lotes en función de su fecha de manufactura.
- Cuantificar los niveles de citratos en los extractos de jugo y concentrados de naranja.
- Definir e implementar la técnica analítica para determinar la concentración de citratos en el laboratorio de la planta CITREX.

#### **1.4 HIPÓTESIS**

Es posible desarrollar una metodología a nivel laboratorio para determinar la concentración de “citratos” presentes en el jugo concentrado de naranja elaborado en la empresa CITREX.

## **1.5 ALCANCES**

- Desarrollar nuevas técnicas de laboratorio para una empresa alimenticia.
- Determinar el tipo de problema que causan los cristales de citrato para algunos clientes.
- Desarrollo de nueva información textual sobre la situación presentada a un cliente que presenta la inconveniencia que le causa este defecto.
- Manejo de nuevos equipos de laboratorio.
- Adquisición de nuevos conocimientos de la industria.
- Aprendizaje de manejo más elaborado de la herramienta electrónica de Excel.
- Análisis de diferentes áreas que involucran el desarrollo del proceso que conlleva la elaboración del jugo concentrado.
- Aplicación de técnicas de microscopía óptica.

## **1.6 LIMITACIONES**

- La información disponible en la literatura, con respecto al tema es escasa y no muy confiable.
- Reorganizar la información.
- No poder analizar los cristales debido a que no se cuenta con equipos adecuados para este propósito.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 CÍTRICOS**

Los cítricos se cultivan desde épocas remotas (más de 400 años). Sus frutas atrajeron la atención de los pueblos primitivos, que se supone ya las cultivaban desde hace mucho tiempo. Están considerados entre las frutas frescas de mayor valor nutritivo, debido a un equilibrado contenido en agua, azúcares, ácidos, sales minerales, fibras y vitaminas, siendo indiscutible su elevado contenido en vitamina C. (Reuter, W. L.D, 1967).

La vitamina C es un antioxidante capaz de prevenir la formación de radicales libres, encargados de ocasionar deterioro celular. Es imprescindible en la formación y mantenimiento del colágeno, necesario para mantener unidas las células del tejido conectivo. Este tejido constituye un tercio de la proteína corporal, actuando como ligamento y sostén de la piel, músculos, cartílagos, discos vertebrales, paredes de los capilares, huesos, dientes y encías. La vitamina C colabora además en el aprovechamiento de los hidratos de carbono y aminoácidos, y en la absorción de hierro a partir de fuentes no animales. Dado que acelera la producción y movilidad de glóbulos blancos, tendría efecto preventivo respecto a la gripe, resfríos y ciertos tipos de cáncer. Por ser hidrosoluble, su exceso no se acumula, sino que se elimina por la orina. Actúa como desintoxicante reduciendo los efectos colaterales de ciertas drogas, como cortisona y aspirina. (Batchelor y H.J. Weber (eds.), 1967)

#### **2.1.2 FISIOLÓGÍA DE LOS CÍTRICOS**

Los cítricos tienen tres partes principales que son morfológicamente distintas, es decir, flavedo, albedo y pulpa. El exocarpio o flavedo, que es la parte externa coloreada de la corteza, contiene estomas y glándulas sebáceas en su epidermis. La superficie del flavedo está cubierta por una cutícula, y su ancho depende principalmente de la edad del fruto, que se engrosa con el tiempo. (Carmen, M. (s. f.),2008).

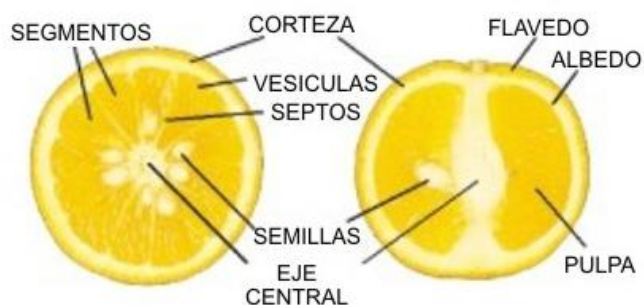
Durante las primeras etapas, el flavedo es un tejido fotosintéticamente activo con cloroplastos que se transforman en cromoplastos mientras el fruto madura.

El mesocarpio o albedo es la parte interna de la corteza, que suele ser blanca o sin color. El tamaño de la fruta aumenta principalmente durante la etapa I debido al crecimiento del mesocarpio, que representa el 90% del volumen de la fruta, pero en la etapa II, este crecimiento se detiene. En esta etapa, el albedo desarrolla numerosos espacios aéreos, aumentando su espacio intercelular. A medida que crece la pulpa, el albedo se vuelve más delgado. Finalmente, la pulpa se conforma con la parte comestible del fruto. Estas vesículas comienzan a formarse después de la floración. El número de

sacos de jugo muestra un pequeño aumento durante la etapa I del desarrollo del fruto, y en la etapa II, la pulpa crece debido a la expansión celular. (E. Frometa M.,1979).

### 2.1.3 FISIOLOGÍA DE LA NARANJA

El interior del fruto está dividido en aproximadamente diez pequeños huevos unidos entre sí y en cuyo interior crecen las semillas y los sacos de zumo. El fruto se divide en tres zonas, la más externa es el exocarpo o flavedo que está formado por una epidermis y que presenta pequeñas vesículas que contienen aceites esenciales. La siguiente capa es el mesocarpo o albedo de aspecto esponjoso y de color blanco. Por último, se encuentra el endocarpo o pulpa que es donde se encuentran los sacos de zumo y las semillas. Los sacos de zumo o vesículas son estructuras alargadas que nacen en el endocarpo y se alargan hacia el interior del fruto hasta llenarlo por completo. Estas vesículas contienen ácidos orgánicos y azúcares, que junto con agua constituyen el zumo. (E. Frometa M.,1979).



*Figura 1. Fisiología de la naranja*

Las partes principales de una naranja son:

- **Exocarpo o Flavedo:** es la cáscara o corteza, pero sólo la parte naranja. El exocarpo o flavedo está formado por una epidermis e hipodermis que es de color verde cuando aún no está madura y naranja cuando ya está en su punto de maduración. Esta parte está compuesta de pequeñas vesículas que contienen aceites esenciales que se utilizan principalmente para realizar perfumes y aromatizantes.
- **Mesocarpo o Albedo:** Esta parte también forma parte de la cáscara de la naranja. Su aspecto es esponjoso y de color blanco. Es la que contiene más pectinas y se utiliza principalmente para la realización de mermeladas, aunque también es rica en glucósidos.
- **Endocarpo o pulpa:** Es la parte que nos comemos de la naranja y del resto de cítricos y supone el mayor porcentaje de su peso. Está formado por gajos o sacos de zumo y las semillas.

Aquí es donde se encuentran los diferentes ácidos orgánicos (como la vitamina C), azúcares y agua que aportan esta fruta.

Dentro del endocarpo o pulpa podemos encontrar las siguientes partes:

- **Septas o membranas:** son las paredes que separan los gajos.
- **Semillas:** son la simiente del árbol.
- **Eje central:** es la parte central de la naranja. Así como el mesocarpo o Albedo su aspecto también es esponjoso y de color blanco.
- **Vesículas:** Los gajos (vesículas) es donde se almacena el zumo

Las células del exocarpo contienen cloroplastos, por lo que los frutos inmaduros son verdes. Durante la maduración se pierde clorofila dejando a la vista otros pigmentos coloreados principalmente los carotenoides que son los responsables del color anaranjado del fruto y que además aumentan en contenido durante la maduración. (Miriam Álvarez, 1979).

La maduración interna y externa de las naranjas se rige por mecanismos diferentes por lo que muchas veces un fruto que alcanza la maduración para ser comercializado, todavía su color no es el apto para entrar en el mercado por lo que a estos frutos se le someterá a un proceso de desverdización provocando la coloración del fruto. Para ello se recolectarán los frutos en verde y se tratarán con etileno en cámaras especiales.

La conservación de las naranjas en cámaras frigoríficas a una temperatura ligeramente superior a su punto de congelación, prolonga el periodo de buenas condiciones organolépticas del fruto y reduce el ataque de hongos. (E. Howell, 1979).

## 2.2 NARANJA TARDÍA

La naranja es una de las frutas más importantes en México tanto para el consumo en fresco como para la exportación de jugo.

El fruto es oblongo, de tamaño mediano a grande, prácticamente sin semillas, con elevado contenido de jugo, el cual es ligeramente ácido, y con cualidades excelente para procesarse La fruta de la floración de febrero-marzo, colorea amarillo claro; la de mayo y agosto son amarillo-verdosas a falta de temperaturas frescas durante su periodo de maduración que son indispensables para que ello ocurra. Su vida en almacén es de 15 días. (Willard, 1967; Bono et al., 1985).

## 2.3 JUGO DE NARANJA

El jugo de naranja tiene grandes beneficios para la salud y además tiene un alto contenido nutritivo, por ejemplo, aporta al organismo vitaminas (vitamina A y vitamina C), minerales, tiamina, ácido fólico, potasio, fibra, proteínas, cobre, magnesio, flavonoides, hesperidina y una gran variedad de otras vitaminas y minerales que harán que la naranja sea la fruta más valiosa y llena de nutrientes disponibles para el consumo humano. Además, en términos de calorías, el jugo de naranja tiene 47 calorías en una porción de 100 ml.

La industria de jugos de cítricos en especial de la naranja ha crecido mucho en todo el mundo. En nuestro país la demanda de jugos naturales se ha incrementado, debido a que los consumidores prefieren jugos naturales, y los jugos concentrados de naranja son la materia prima para otros tipos de bebidas. La industrialización del zumo o jugo de naranja, posee una serie de etapas para la obtención del jugo pasteurizado o concentrado, el control de calidad en el jugo, así como los factores que pueden afectar su calidad y las tecnologías necesarias para mejorar la calidad y conservación del jugo. (Antonio R.,2010).

El objetivo de que el jugo sea conservado adecuadamente, es que pase a través de un enfriador para alimentar dicho jugo a un sistema que le genere una temperatura adecuada. Debido a que todos los jugos extraídos contienen considerables cantidades de aire (el oxígeno del cual reacciona particularmente con el ácido ascórbico del jugo), lo que resulta una pérdida de vitamina C y cambios indeseables en el sabor y color. Se debe extraer efectivamente el aire y los demás gases contenidos en los jugos. Esta es una operación muy importante cuando los jugos deben someterse a tratamientos térmicos como la pasteurización, ya que la combinación de aire y calor constituye la condición más adecuada y favorable para la oxidación de los jugos. Lo recomendable para este proceso, es llevar el jugo al vacío, es decir el jugo sea admitido en forma de una película dentro de una cámara en la que reina un alto vacío. El jugo frío entra en el Deaerator mediante el vacío en la cámara creado y mantenido por una bomba de alto vacío. Finalmente se realiza el proceso de envasado para realizar su venta del producto final. (Antonio R.,2010).

También se sabe que se pueden generar subproductos obtenidos durante el proceso de extracción del jugo, como las emulsiones, las cáscaras, las semillas, de las cuales se pueden obtener otros productos, de mucha importancia para la industria, como son el aceite esencial, la pectina, el d-limoneno, la limonina, enzimas pectinasas, alimento para ganado, entre otras. De esta manera se aprovechan los "desechos" evitando problemas de contaminación ambiental y beneficios económicos para la industria procesadora de zumos. (Antonio R.,2010).



## **2.4 COMPONENTES DEL JUGO DE NARANJA**

Los jugos son bebidas ricas en nutrientes y sin grasa, ricas en vitaminas, minerales y fitonutrientes naturales que contribuyen a la buena salud. El jugo de naranja es uno de los jugos más consumidos en el mundo. Los árboles de naranja se cultivan ampliamente en climas tropicales y subtropicales por su fruta dulce, que se puede comer fresca o procesada para obtener jugo, y por su cáscara fragante, (Jiménez, S. 2011)

El jugo de naranja es una rica fuente de nutrientes esenciales y antioxidantes. La actividad antioxidante total del jugo de naranja es mayor que la del vino de naranja, 100 g. de porción comestible de jugo de naranja contiene energía (46 kcal), carbohidratos (11,54 g.), azúcares (9.14 g), fibra dietética (2,4 g), grasa (0,21 g), proteína (0,70 g), tiamina Vit. B1 (0,100 mg), Riboflavina Vit. B2 (0,040 mg), Niacina Vit. B3 (0,400 mg), Ácido pantoténico B5 (0,250 mg), Vitamina B6 (0,051 mg) Folato Vit. B9 (17 µg), Vitamina C (45 mg), Calcio (43mg), Hierro (0,09 mg), Magnesio (10 mg), Fósforo (12 mg), Potasio (169 mg) y Zinc (0,08 mg).

## **2.5 CONCENTRACIONES DE ÁCIDOS ORGÁNICOS**

Los ácidos orgánicos son un índice útil de autenticidad en los productos de fruta, ya que son menos susceptibles de cambiar durante el procesamiento y el almacenamiento que otros componentes de las frutas (Camara et al., 1994). El conocer los niveles y proporciones de los ácidos orgánicos es útil para determinar el porcentaje de contenido de zumo de los productos, también para detectar marcas falsas y/o adulteraciones en esta clase de alimentos debido a que cada fruta posee un patrón único de ácidos orgánicos (Coppola y Starr, 1986). Es de gran interés debido a la influencia en las propiedades sensoriales de las frutas y los zumos de frutas. Al mismo tiempo, algunos ácidos orgánicos pueden utilizarse como indicadores de madurez, actividad bacteriana y adulteración. (Walton B, 1908)

El ácido orgánico predominante en el zumo de naranja es el ácido cítrico (765.5 ppm); pero se ha comprobado la presencia de otros ácidos orgánicos, como el tartárico (No Cuantificable), málico (177.5 ppm), benzoico (No cuantificable) y succínico (No cuantificable). (Willard M. Reuter, 2015).

## **2.6 PRINCIPALES MINERALES REPORTADOS EN JUGO DE NARANJA**

Las cáscaras de la naranja, de la lima y de la mandarina, al igual que sus pulpas, son fuentes prometedoras de elementos minerales que pueden utilizarse por sus propiedades saludables en productos alimenticios. (Anna Czech,2009)

Se presenta una tabla que representa el contenido de macronutrientes en la pulpa (P) y cáscara (C) en la naranja:

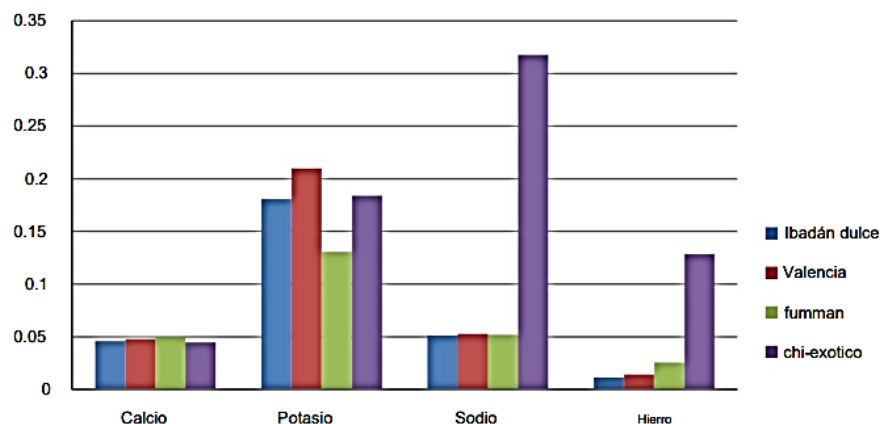
**Tabla 1** Contenido de macronutrientes en la pulpa (P) y cáscara (C) en la naranja.

Contenido de macronutrientes en la pulpa y cáscara en la naranja (mg/100 g)		
Potasio	P	139
	C	154
Sodio	P	0.12
	C	0.54
Calcio	P	27.9
	C	41.9
Fósforo	P	23.3
	C	25.3
Magnesio	P	10.3
	C	13.2
Zinc	P	0.17
	C	0.25
Cobre	P	0.06
	C	0.15
Manganeso	P	0.02
	C	0.13
Selenio	P	1.50
	C	2.35
Hierro	P	0.37
	C	0.51

Los cítricos contienen una rica fuente de potasio, la naranja aporta el 6% de la ingesta dietética de referencia (IDR), mientras que un vaso de zumo de naranja proporciona el 10% de la (IDR). (Walton B, 1908)

Los niveles de oligoelementos en la fruta pueden ser influidos por la composición mineral del suelo en el que se ha cultivado, la composición del agua de riego, las condiciones meteorológicas y las prácticas agrícolas, así como también los tipos y cantidades de fertilizantes. Además de que las frutas acumulan selectivamente los metales, como la pulpa de los cítricos es una fuente de algunos elementos minerales como el potasio, el fósforo, el calcio o el magnesio para la nutrición humana, en otras partes de la fruta contienen estos elementos, sin embargo, no son reconocidas en la nutrición debido a que generalmente son los componentes no comestibles como la cáscara. (Anna Czech,2009).

En la ilustración 2 se presenta una gráfica de la composición mineral (ppm) de diferentes zumos de naranja:



*Figura 2. Composición mineral (ppm) de diferentes zumos de naranja.*

El jugo de naranja que presenta mayor cantidad de calcio es fumman (0.050 ppm), seguido de Valencia (0.048 ppm), jugo de naranja dulce Ibadan (0,46 ppm) y naranjas chi-exóticas (0.045 ppm). (Walton B, 1908)

## 2.7 PRESENCIA DE CALCIO EN LOS CÍTRICOS

El calcio (Ca) tiene diferentes funciones en las plantas, como ser un componente estructural de la pared celular y un mensajero citosólico en las células. La absorción de calcio por parte de las plantas del suelo ocurre a través de las raíces, y su acumulación en la fruta depende del transporte a través de la xilema, ya que el calcio tiene poca movilidad en el floema. El contenido de Ca en frutos está altamente regulado por la transpiración, mostrando mayor contenido en órganos con mayor transpiración, como las hojas. Por lo tanto, la menor capacidad de transpiración de los frutos en comparación con las hojas los hace más susceptibles al déficit de Ca. (Yara M., 2019)

Se ha informado que la entrada y la acumulación de calcio en la fruta son mayores durante las primeras etapas de desarrollo y disminuyen progresivamente con el tiempo. Es probable que este efecto se deba a las tasas de transpiración más altas en las primeras etapas del desarrollo de la fruta, que están estrechamente relacionadas con la acumulación de Ca en la fruta.

Se ha demostrado que los tejidos morfológicos de la fruta exhiben diferentes comportamientos de entrada de Ca y concentraciones de Ca. Algunos tejidos incluso han demostrado la capacidad de formar cristales de oxalato de calcio (CaOx) en la vacuola de células especializadas llamadas idioblastos, secuestrando calcio de manera efectiva. Se cree que la formación de cristales es un

proceso regulado genéticamente, y grandes cantidades de Ca se precipitan como CaOx, que es fisiológica y osmóticamente inactivo. Este proceso reduce la concentración apoplástica de Ca en las células adyacentes y regula el nivel de calcio citosólico para evitar la interferencia con los procesos celulares. A pesar de las altas concentraciones de calcio en la fruta, la fruta puede mostrar síntomas de deficiencia cuando el calcio se secuestra como oxalato de calcio. (Yara M., 2018).

## **2.8 VIDA DE ANAQUEL DEL JUGO DE NARANJA**

Durante el almacenamiento, el jugo de naranja sufre importantes reacciones de deterioro como; la degradación de la vitamina C, pérdida de textura, crecimiento de microorganismos, cambio en la apariencia y características sensoriales lo que provoca una pérdida importante de la calidad (Torregrosa et al., 2006).

El contenido de jugo es un índice importante para la evaluación de la calidad de los frutos cítricos. Cuando este se encuentra almacenado a temperaturas frías, el contenido de jugo disminuye, esto probablemente se deba a que se induce el secado de las vesículas a una temperatura más fría. Además, el contenido de jugo también puede verse afectado no solo por las diferentes temperaturas, si no también, por el transporte y condiciones de vida útil.

## **2.9 CAMBIOS QUE SUFRE EL JUGO DURANTE EL ALMACENAJE**

El jugo de naranja es muy valorado en la industria debido al valor nutritivo que contiene. Una de las partes esenciales es la nube ya que aporta gran parte del color, sabor, turbidez y aroma del jugo de naranja, debe tratarse como componente separado y no como pequeños fragmentos de pulpa, zumo de naranja, debido a que se compone de proteína, pectina, lípidos, celulosa y hemicelulosa. Las partículas de nube de jugo de cítricos típicamente varían en tamaño de 0.4 a 5.0  $\mu\text{m}$ , mientras que las nubes estables tienen tamaños de partículas de 2  $\mu\text{m}$  y más pequeños medidos por microscopía electrónica. (María Concetta Strano, 2009)

La teoría más apegada a la desestabilización de las nubes dice que la pectina metilesterasa (PME) inciden los esteres metílicos de las moléculas de pectina, dado metanol y ácido péctico libre específico, los cationes de calcio regulan las unidades libres de ácidos péctico a unidades libres de moléculas en la pectina adyacente, formando geles de pectato de calcio insolubles que se vuelven demasiado grandes y se quedan en suspensión, tirando de la nube con ella.

Baker y Bruemmer (1972 a) agregaron pectina a un floculo envejecido que contenía suero de jugo de naranja Valencia o Piña y luego resuspendió la nube. La pectina añadida hizo que aumentara la

turbidez del sistema, y los autores concluyeron que la pectina soluble inhibe la clarificación cuando hay flóculos.

Se ha demostrado que la clarificación no es directamente proporcional a la actividad total de PME del jugo de naranja. Wicker y otros (2002) informaron un cambio hacia partículas más grandes y un aumento en % T (de aproximadamente 5 a 15 %) de partículas de nube en muestras de jugo de naranja reconstituido con PME agregando 1.2 U/mL, pero la clarificación, indicada por % T, no se observó en el día 13 en un estudio a 4° C. Los cationes agregados sin presencia de PME no cambiaron el % T ni aumentaron el PS, pero las muestras con PME y cationes agregados aumentaron en tamaño de partícula y se aclararon en el día 2 según %T. El cambio de tamaño de partícula fue evidente antes de que el %T mostrara clarificación.

Versteeg y otros (1980) aislaron tres isoenzimas PME de naranja Navel, dos eran termolábiles y se inactivaban a 70° C, y uno que era termoestable y requiere una temperatura de 90° C para la inactivación. Los autores encontraron que el termolábil de las isoenzimas, cuando se agregan al jugo de naranja, aclaran el jugo muy lentamente, si es que lo hacen, el termoestable isozyme, sin embargo, clarificó rápidamente el jugo. Cameron y otros (1998) aislaron cuatro PME isoenzimas de naranja Valencia, tres de las cuales eran termolábiles. Dos de los termolábiles las isoenzimas mostraron clarificación del jugo. Ackerley y otros (2002) demostraron que la PME termolábil extractos de pulpa de naranja Valencia con bandas de proteína de 36 y 27 kDa aclararían rápidamente el jugo, mientras que los extractos con bandas de proteína de 36 y 13 kDa no clarificaron rápidamente el jugo.

Shomer y otros (1999) encontraron que se desarrollan grumos en la materia insoluble de la nube en temperaturas superiores a 70° C y a valores de pH de 3-4, que son condiciones en las que las proteínas coagular y flocular. El floc de la nube fue más prominente a pH 3.5 y el floc se mejoró con degradación enzimática de pectina y calentamiento, donde la pectina es más soluble y la PME es menos activa.

Los autores sugirieron que la coagulación/floculación de proteínas da como resultado la clarificación. Ellos concluyeron que la asociación entre pectina y proteína se ve reforzada por la actividad de PME, y la pérdida de nubes es el resultado de la floculación de proteína de nube-pectina.

Krop y Pilnik (1974) agregaron oxalato de amonio al jugo de naranja reconstituido con pectinesterasa añadida a pH normal para determinar el efecto de los iones de calcio en la clarificación. Ellos reunieron mediciones de turbidez y siguió la liberación de metanol en el jugo durante un periodo de

dos semanas. Los resultados mostraron que la nube de jugo era estable con la adición de amonio oxalato en presencia de PME activo, durante el período de dos semanas. Como era de esperar, jugos de control aclarado Croak y Corredig (2006) también usaron un quelante de calcio y compararon la adición de niveles crecientes de PME a pH 3.8 en jugo con EDTA 20 mM, un agente quelante de calcio, y en jugo sin EDTA. Llegaron a la conclusión de que las partículas de las nubes se desestabilizan incluso en una atmósfera de calcio, ambiente empobrecido con la adición de PME (15 y 24 unidades/mL).

Se ha demostrado que a pH 7 no se produce la clarificación del jugo (Ackerley y Wicker 2003) a pesar de que este es un pH óptimo para PME. Es probable que, aunque PME esté activo en este pH, la repulsión de carga entre pectinas con una carga negativa neta impide la asociación. La reducción del pH al pH natural hace que la floculación ocurra rápidamente. Corredig (2006) demostró que el jugo es más estable frente a la adición de PME a pH 6 que a pH 3.8. La naturaleza de las interacciones en la nube de jugo de naranja no se comprende completamente. (Francia Elena Valencia García, 2011).

Se presenta una tabla de contenido de calcio y absorción fraccional de 500 mg de calcio permitidos con un alimento:

*Tabla 2. Contenido de Calcio y absorción fraccional de 500 mg de calcio permitidos con un alimento.*

<b>Fuente de calcio</b>	<b>Peso Molecular g/mol</b>	<b>Contenido de calcio, mg/g</b>	<b>Absorción fraccional %</b>	<b>Debe ingerirse con alimentos</b>
Citrato de Calcio	570	21	35-50	SI

## **2.10 TÉCNICAS QUE SE UTILIZAN COMUNMENTE PARA DETERMINAR EN EL JUGO LOS NIVELES DE ÁCIDO CÍTRICO Y CITRATO.**

- Cromatografía líquida.

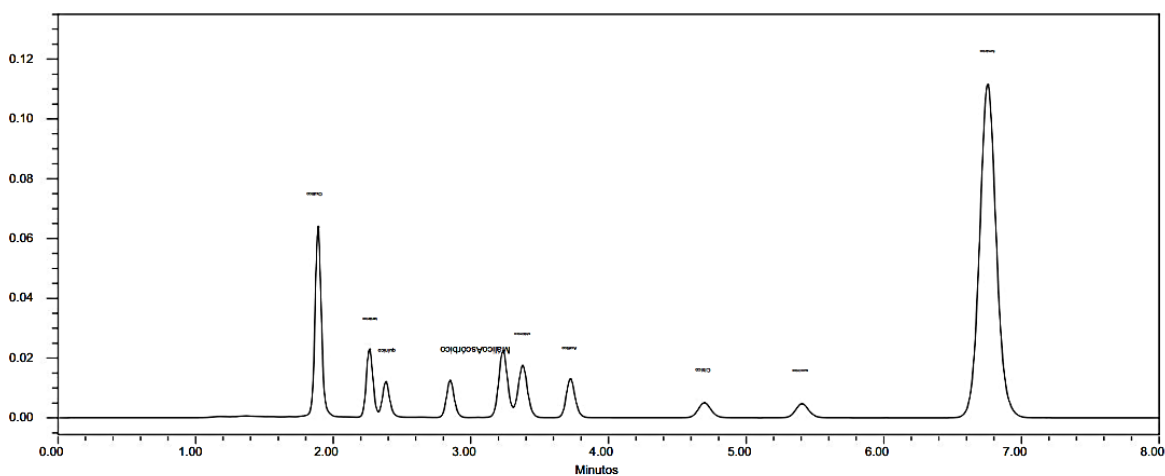
El monitoreo de estos ácidos orgánicos es esencial para el control de calidad durante el procesamiento de jugos y productos relacionados, así como para evaluar la autenticidad y pureza del jugo. Empleando un sistema de HPLC PerkinElmer Altus™, y una columna PerkinElmer Brownlee™ Validated Aqueous C18 de 5 μm, 4,6 x 250 mm para todos los análisis (PerkinElmer, Shelton, CT, EE. UU.), El agua, utilizada tanto para el disolvente como para el diluyente, era de grado HPLC. Para amortiguar la fase móvil y ajustar el pH a 2,4, se utilizaron tanto fosfato monobásico de potasio como ácido fosfórico, obtenidos de Sigma Aldrich®, Inc (Allentown, PA).

Se obtuvo un kit estándar de ácido orgánico de Sigma Aldrich®, Inc. De los ácidos orgánicos incluidos, se usaron los siguientes para esta aplicación: ácido oxálico, ácido tartárico, ácido quínico, ácido málico, ácido ascórbico, ácido shikímico, ácido cítrico, ácido succínico y ácido fumárico. Además, se añadió ácido acético como estándar, que también se obtuvo de Sigma Aldrich®, Inc.

Se preparó un estándar de reserva que contenía los 10 ácidos orgánicos indicados anteriormente. Las concentraciones individuales variaron según la capacidad de absorción UV del ácido orgánico individual y la concentración más alta esperada en los jugos de frutas.

Los jugos de frutas comerciales, incluidos jugo de uva, jugo de naranja, jugo de manzana y jugo de arándano, se obtuvieron de una tienda local. Estos se diluyeron 9:1 con agua de grado HPLC, se filtraron y luego se inyectaron.

La fase móvil tamponada y todos los estándares y muestras se filtraron primero a través de filtros de 0,45  $\mu\text{m}$  antes de la inyección. Un cromatograma de una mezcla estándar de los 10 ácidos orgánicos, todos separados en menos de ocho minutos.



**Figura 3.** Cromatograma de mezcla estándar de ácidos orgánicos; ultravioleta a 210 nm.

El contenido de ácido orgánico individual para cada uno de los cuatro jugos se representa en la figura 4 comparando los cuatro jugos, variaban considerablemente entre sí en la proporción de ácidos orgánicos que contenían.

Ácido orgánico	Jugo de uva (ppm)	Zumo de naranja (ppm)	Jugo de manzana (ppm)	Arándano Jugo (ppm)
Oxálico	NQ	15.2	-----	-----
tartárico	135.0	NQ	-----	-----
quínico	-----	NQ	-----	311.7
málico	327.4	177.5	365.1	190.2
ascórbico	-----	39.4	92.1	9.6
shikímico	1.8	1.6	1.4	6.8
Acético	-----	-----	-----	-----
Cítrico	34.9	761.5	27.2	303.8
succínico	178.2	-----	-----	-----
fumárico	2.8	2.4	2.6	-----

ND = No detectado NQ = No cuantificable

**Figura 4.** Contenido de ácidos orgánicos promedio resultante para cuatro jugos de frutas analizados. Todas las muestras se realizaron por triplicado.

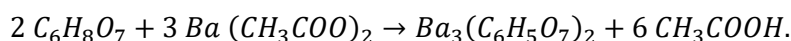
Este trabajo demostró la separación cromatográfica efectiva y la cuantificación de 10 ácidos orgánicos comúnmente encontrados en jugos de frutas utilizando un sistema PerkinElmer Altus HPLC con detector UV A-10. Se analizaron efectivamente cuatro jugos de frutas diferentes, y cada uno mostró varias cantidades y combinaciones de los 10 ácidos orgánicos. (Willard M. Reuter, 2015).

- Contenido de ácido cítrico.

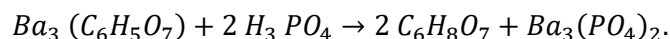
Para la realización de este trabajo se escogió las diez variedades que parecieron de mayor consumo.

Se siguió el Método de Pratt, según lo indican Leach y \vintén. Consiste en una determinación gravimétrica indirecta, en la que el ácido cítrico sufre una serie de transformaciones.

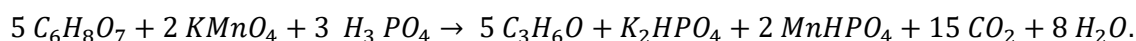
Primero se separa, tratándolo con acetato de bario para precipitarlo como citrato de bario, según la ecuación:



Luego se disuelve el citrato de bario con ácido fosfórico siruposo, formándose de nuevo el ácido cítrico, así:

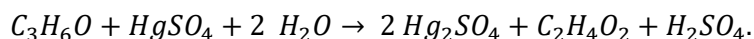


A este ácido cítrico en solución se le agrega agua hirviendo acidulada con ácido fosfórico y se calienta, añadiéndole cuando hierve solución de permanganato de potasio hasta aparición del color rosado típico, transformándose por oxidación, el ácido cítrico en acetona, según la ecuación:





La acetona se destila luego sobre una solución de sulfato mercuríco, que se reduce a mercurioso precipitando, así:



Este sulfato mercurioso es el que se pesa, y el peso se multiplica por un factor que se obtiene de la siguiente manera:

$$FG = \frac{B}{E} = \frac{\text{Acido Cítrico}}{2 \text{ Mercurioso}} = \frac{210.14}{994.56} = 0.211$$

La tabla 3 muestra los resultados obtenidos. Se ha ordenado la lista en orden descendiente de su contenido de ácido cítrico:

**Tabla 3 Presencia de Ácido Cítrico**

N° de Orden	Nombre Popular	N° de Pruebas	ACIDO CITRICO EN EL JUGO		
			Gramos / 100 gramos		
			Máximo	Mínimo	Promedio
1	Limón agrio criollo	3	5.21	4.95	5.09
2	Lima agria	4	4.68	4.63	4.67
3	Mandarina agria	4	4.48	4.39	4.43
4	Naranja agria criolla	3	2.64	2.50	2.57
5	Grape fruit blanca	3	1.41	1.35	1.50
6	Mandarina criolla	3	0.58	0.51	0.54
7	Naranja dulce criolla	3	0.41	0.36	0.37
8	Naranja Washington de ombligo	3	0.26	0.20	0.24
9	Naranja malagueña	2	0.005	0.005	0.005
10	Limón dulce	2	0.002	0.002	0.002

## 2.11 CITRATO

Los citratos son las sales del ácido cítrico, y buenos reguladores de acidez. Existe una lista completa en la categoría de Citratos:

- Forma ionizada del ácido cítrico.
- Citrato de aluminio.
- Citrato de calcio o *Sal amarga*, utilizada en la preservación y condimentación de alimentos.
- Citrato de potasio, utilizado como solución buffer para regular el pH.
- Citrato de sildenafil, es el nombre del producto Viagra, entre otros.
- Citrato de sodio, utilizado como solución buffer para regular el pH, y para evitar la coagulación de la sangre.
- Citrato de cobre

### 2.11.1 CITRATO DE CALCIO

El citrato de calcio es la sal de calcio del ácido cítrico e hidróxido de calcio. A menudo se usa como aditivo alimentario (E333), generalmente como conservante, pero a veces para dar sabor. En ese sentido, es comparable al citrato de sodio. El calcio constituye el 24,1% de citrato de calcio (anhidro) y el 21,1% de citrato de calcio (tetrahidrato) en masa. El tetrahidrato se encuentra en la naturaleza como el mineral Earlandita. Su formación tiende a ser como un polvo cristalino, color blanco, posee una solubilidad de un gramo en 1050 ml en agua fría, es menos soluble en agua caliente e insoluble en alcohol. (Antonio Hernández, 2006).

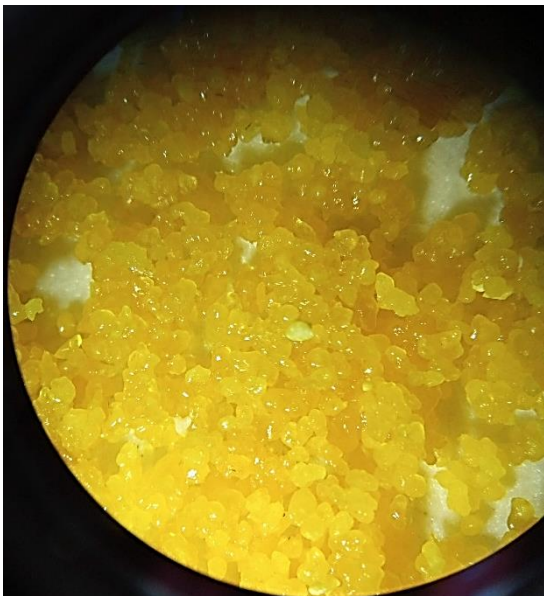
### 2.11.2 CITRATO HIGROSCOPICO

La higroscopia es la capacidad que tiene una sustancia o un material de absorber la humedad del entorno en el que se encuentra. Las sustancias higroscópicas son aquellas que pueden atraer el agua en forma de vapor o líquido del ambiente en el que se encuentra. Algunos de los compuestos higroscópicos reaccionan químicamente con el agua. Otras sustancias suelen atraer el agua como hidratación en su estructura cristalina. En estos dos casos la retención es reversible y el agua es de sorbida. (B.M 2017)

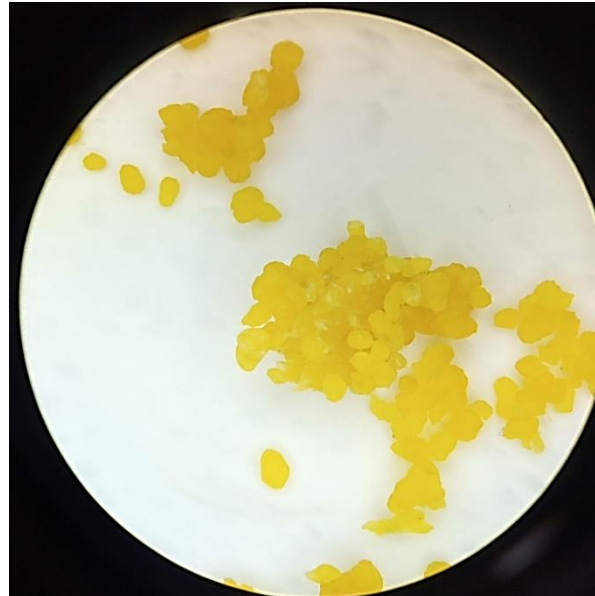
Esto quiere decir que, así como atrae el agua esta puede liberarla para humedecer la sustancia. Por cada sustancia existe una humedad que se le conoce como “humedad de equilibrio” esta absorbe la humedad del ambiente. Si la humedad es menor al valor de la sustancia esta se secará, y en caso contrario si la humedad es mayor al valor de la sustancia entonces se va a humedecer. (B.M 2017)

Mediante la observación del citrato de calcio en el medio ambiente es posible que este sea higroscópico debido a que, entre los cambios de humedad presentados en el medio, genera una especie de controversia, en la cual, tiene una posible relación durante todo el proceso de elaboración del jugo para existir un factor que predomine en la transformación del citrato, además de que, al estar presente en una alta humedad en el ambiente, el citrato presenta una consistencia gelatinosa como se presenta en la ilustración 5, caso contrario en poca humedad este tiende a secarse y endurecerse presentado en la ilustración 6.

En la ilustración 5, el citrato estuvo expuesto a un alto ambiente acuoso por lo cual posee una apariencia húmeda, en el caso de la ilustración 6 cuando el citrato está expuesto a una baja humedad este contiene una apariencia seca y tiende a endurecerse.



**Figura 5.** Citrato de calcio, observado en el microscopio en aumento de 40x, expuesto a una alta humedad presenta una apariencia húmeda, gelatinosa, también una pigmentación amarillenta y muy brillante.



**Figura 6.** Citrato de calcio, observado en el microscopio en aumento de 40x, expuesto a una baja humedad presenta una apariencia más seca y dura, además de que la pigmentación es opaca.

Además de que:

- Los nutrientes como el calcio son vitales para el crecimiento de la planta ya que le aporta una buena estructura y que el árbol contenga una flexibilidad mejor.
- La naranja contiene calcio y está dentro del valor nutricional,
- Entonces dentro del proceso tal vez hay un factor que intervenga, si se presenta una gran cantidad de humedad, pueda que se deba a la transformación del citrato.

No se le podrá quitar el citrato al jugo, sin embargo, se puede rehidratar y a su vez este proceso pueda ser posible que se le elimine el citrato o se reduzca. Además de que considerando que el citrato es un elemento que a mayor cantidad de agua es soluble, menos soluble en alcohol para poder recolectarse.

## CAPÍTULO III: DESARROLLO

### 3.1 TÉCNICAS DE LABORATORIO

Se realizaron una serie de pruebas para poder obtener con efectividad una técnica analítica para la determinación de citratos en el jugo concentrado de naranja. A continuación, se presentan las técnicas implementadas:

#### a) 3.1.1 Técnica de laboratorio para la identificación de principios de formación de citrato de calcio en jugo concentrado de naranja con Alto porcentaje de acidez.

**Objetivo:** Evaluar 42 muestras de jugo concentrado de naranja con la finalidad de poder demostrar que entre mayor acidez contenga el jugo será mayor la probabilidad de identificar principios de formación de citrato, utilizando la rehidratación de jugo en 70% agua y 30% alcohol.

#### **Materiales:**

CANTIDAD	MATERIAL
1 pieza	Vaso de Precipitado de 1000 ml.
1 pieza	Vaso de Precipitado 500 ml.
4 litros con 500 ml.	Agua
1 litro con 900 ml.	Alcohol
1 pieza	Pipeta de 10 ml.
1 pieza	Malla del 20
1 pieza	Malla del 60
1 pieza	Agitador
42 frascos	Muestras de ½ Litro de Jugo Concentrado de Naranja
1 pieza	Aguja de Jeringa
4 pieza	Cajas Petri
1 pieza	Balanza Analítica
1 pieza	Piseta de alcohol

#### **Procedimiento:**

1. Reunir los materiales
2. Tomar el vaso de precipitado de 500 ml. y colocarlo en la balanza analítica, posteriormente tarar y después pesar 150 gr. de jugo concentrado.

- Ajustar los 150 gr. de jugo concentrado a un porcentaje final de 70% agua y 30% alcohol. Los cálculos fueron:

Por cada 150 gr. de jugo deberá adicionarse:

$$70\% = 105 \text{ ml de Agua}$$

$$30\% = 45 \text{ ml de Alcohol}$$

- Mezclar vigorosamente.
- Filtrar el jugo lentamente a través de los tamices de malla 20 y 60, unidos de forma secuencial.
- Realizar movimientos envolventes con una varilla de vidrio sobre la superficie de los tamices, para que el jugo pueda pasar sobre las mallas.
- Lavar los citratos retenidos en los tamices empleando alcohol isopropílico.
- Recolectar con ayuda de una aguja de jeringa los citratos retenidos y colocarlos en una caja Petri.
- Repetir el procedimiento para las 42 muestras analizadas.
- Evaluar al microscopio los citratos aislados.

**b) 3.1.2 Técnica de laboratorio para identificación de citratos en jugo concentrado de naranja rehidratado al 70% agua y 30% alcohol implementando secado y pesaje de citrato obtenido de 150 gr. de muestra de jugo concentrado de naranja.**

**Objetivo:** Evaluar jugo concentrado de naranja con la finalidad de poder identificar la formación de citrato, ajustando el jugo de naranja a una concentración final (V/V) de 70% agua y 30% alcohol, utilizando secado, recolección y pesaje de sólidos retenidos, como probables citratos aislados.

**Materiales:**

CANTIDAD	MATERIAL
1 pieza	Vaso de Precipitado de 1000 ml.
1 pieza	Vaso de Precipitado 500 ml.
1 litro con 200 ml	Agua
500 ml.	Alcohol
1 pieza	Pipeta de 10 ml.
1 pieza	Malla del 20
1 pieza	Malla del 60
1 pieza	Agitador

11 frascos	Muestras de ½ Litro de Jugo Concentrado de Naranja
1 pieza	Aguja de Jeringa
1 pieza	Caja Petri
1 pieza	Balanza Analítica
1 pieza	Piseta de alcohol
1 pieza	Ventilador pequeño
1 pieza	Cuchara pequeña

**Procedimiento:**

1. Reunir los materiales.
2. Cada muestra de ½ litro de jugo concentrado deberá de ser pesada en la balanza analítica y apuntar el dato, si hay dos muestras del mismo lote, se deberá de apuntar ambos pesos, con el fin de tener una estimación de cuanto citrato puede llegar a tener al final el lote.
3. Tomar el vaso de precipitado de 500 ml. Y colocarlo a la balanza analítica, para posteriormente tarar y después pesar 150 gr. De jugo concentrado.
4. Ajustar los 150 gr. de jugo concentrado a un porcentaje final de 70% agua y 30% alcohol.

Los cálculos fueron:

Por cada 150 gr. de jugo deberá adicionarse:

$$70\% = 105 \text{ ml de Agua}$$

$$30\% = 45 \text{ ml de Alcohol}$$

5. Mezclar vigorosamente.
6. Filtrar el jugo lentamente a través de los tamices de malla 20 y 60, unidos de forma secuencial.
7. Realizar movimientos envolventes con una varilla de vidrio sobre la superficie de los tamices, para que el jugo pueda pasar sobre las mallas.
8. Lavar los citratos retenidos en los tamices empleando alcohol isopropílico.
9. Secar los citratos obtenidos por aire forzado con ayuda de un ventilador por 1 hora aproximadamente o cuando estos se encuentren secos.
10. Recolectar los citratos secos de las mallas con ayuda de una aguja de jeringa, o con una cuchara y colocarlas en la caja Petri.
11. Pesar el citrato obtenido para cada una de las muestras.

12. Analizar los datos obtenidos empleando el software Excel.

### c) 3.1.3 Técnica de laboratorio recristalización de citratos en jugo concentrado de naranja.

**Objetivo:** Poder realizar la recristalización para poder tener una mejor caracterización del citrato de calcio.

**Materiales:**

CANTIDAD	MATERIAL
2 piezas	Cajas Petri
1 pieza	Agitador
1 pieza	Pipeta de 2 ml.
10 ml	Agua
10 ml	Alcohol
1.0 gr.	Citrato en condiciones normales
0.06 gr.	Citrato preservado en alcohol: sin impurezas
1	Asa Bacteriológica
1	Balanza Analítica
1	Horno de laboratorio
1	Refrigerador

#### Procedimiento 1: Citrato en condiciones Normales

1. Reunir los materiales.
2. Con ayuda de un asa bacteriológica tomar un poco de muestra de citrato en condiciones normales, pesarla en la balanza analítica hasta que sea la cantidad de 1.0 gr. de muestra.
3. Colocarlo en la caja Petri, y ajustar con agua hasta una concentración del 50% (m/v)
4. Adicionar lentamente una cantidad considerable de agua, y mezclar suavemente con ayuda de un agitador hasta que se desintegre por completo el sólido de citrato.
5. Adicionar una cantidad equivalente de alcohol
6. Las concentraciones finales para 1.0 gr. de citrato fueron:

$$50\% \text{ Agua} = 5 \text{ ml}$$

$$50\% \text{ Alcohol} = 5 \text{ ml}$$



7. Eliminar el agua por calentamiento en horno durante aproximadamente 35 min.
8. Enfriar y tapar el citrato obtenido.
9. Guardar en refrigeración a 3°C
10. La recristalización se presentará después de un par de días.

### **Procedimiento 2: Citrato sin impurezas preservado en alcohol**

1. Reunir los materiales.
2. Con ayuda de un asa bacteriológica tomar un poco de muestra de citrato sin impurezas, pesarlo en la balanza analítica hasta que sea la cantidad de 0.06 gr. de muestra.
3. Colocarlo en la caja Petri, y ajustar con agua hasta una concentración del 50% (m/v).
4. Adicionar lentamente una cantidad considerable de agua, y mezclar suavemente con ayuda de un agitador hasta que se desintegre por completo el sólido de citrato.
5. Adicionar una cantidad equivalente de alcohol.
6. Las concentraciones finales para 0.06 gr. de citrato fueron:  
$$50\% \text{ Agua} = 3 \text{ ml}$$
$$50\% \text{ Alcohol} = 3 \text{ ml}$$
7. Posteriormente para acelerar el proceso de evaporación del agua, se coloca en el horno por un tiempo aproximado de 27 min.
8. Cuando la muestra haya perdido la mayoría del agua se saca del horno, se deja enfriar y se tapa para posteriormente integrarla al refrigerador que posee una temperatura de 3°C, la recristalización se presentara después de un par de días.

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS**

### **4.1 RESULTADOS**

La empresa CÍTRICOS EX de S.A de C.V, es una empresa dedicada a la elaboración de diversos productos del área citrícola, como es el caso del jugo concentrado. A los diversos productos elaborados se le realizan diversas pruebas de control de calidad y los jugos se almacenan dentro de cámaras frías. La presencia de los cristales de citrato generan una preocupación de interés principal para la calidad del jugo concentrado de naranja, debido a que este defecto causa problemas de productividad con sus clientes según sea el método de vaciado del jugo, este tipo de defecto generó el taponamiento de sus filtros durante el vaciado de jugo para la elaboración de la formulación de su producto, aunque actualmente en la industria no se cuenta con notificación de quejas, se propuso aislar y semipurificar estos cristales a fin de identificarlos posteriormente.

Para aislar los cristales a partir de jugo concentrado de naranja se seleccionaron para su análisis 42 muestras almacenadas desde el 2021, presentando cada una de ellas diferente porcentaje de acidez. Para estas muestras se realizó una rehidratación y una semipurificación con el fin de aislar los citratos presentes en el jugo, los cristales fueron colocados en una caja petri, almacenados a temperatura ambiente, para su posterior observación en un microscopio óptico.

La tabla 4 presenta el consecutivo del lote analizado, su porcentaje de acidez, así como el número de cristales de citrato aislados. Se observa que el rango de porcentaje de acidez va desde el 89% hasta el 50%. El comportamiento mostró que conforme disminuye el porcentaje de acidez disminuye también el número de cristales aislados.

#### **a) 4.1.1 Técnica de laboratorio para la identificación de principios de formación de citrato de calcio en jugo concentrado de naranja del año 2021.**

Las condiciones estandarizadas para facilitar el aislamiento de los cristales de citrato, fueron 70% agua y 30% alcohol en 150 gr. de jugo de naranja, las cuales fueron óptimas para evitar la desintegración de los citratos y en tales concentraciones fueran estables.

Con esta técnica se obtuvieron los datos de la tabla 4.

**Tabla 4.** Datos de lotes evaluados, considerando una presencia de mayor a menor acidez con el número de citratos correspondientes en cada uno.

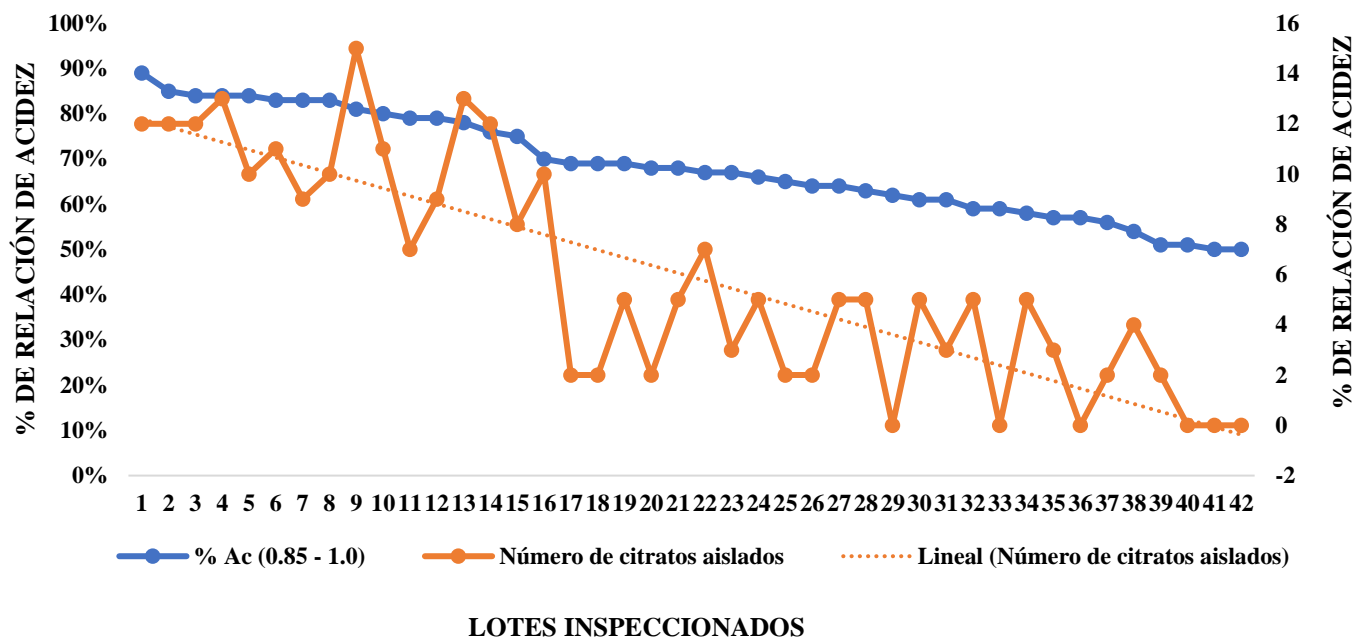
Lote	Porcentaje de Acidez (0.85 - 1.0)	Número de citratos aislados
1	89%	12
2	85%	12
3	84%	12
4	84%	13
5	84%	10
6	83%	11
7	83%	9
8	83%	10
9	81%	15
10	80%	11
11	79%	7
12	79%	9
13	78%	13
14	76%	12
15	75%	8
16	70%	10
17	69%	2
18	69%	2
19	69%	5
20	68%	2
21	68%	5
22	67%	7
23	67%	3
24	66%	5
25	65%	2
26	64%	2
27	64%	5
28	63%	5
29	62%	0
30	61%	5
31	61%	3
32	59%	5
33	59%	0
34	58%	5
35	57%	3
36	57%	0
37	56%	2
38	54%	4
39	51%	2
40	51%	0
41	50%	0
42	50%	0

Se presenta la gráfica número 1 en donde se muestran los valores de acidez por lote, representado en una línea de color azul y nos muestra la acidez de acuerdo con el orden descendente de acidez. Asimismo, se observa la cantidad de citratos representado por una línea color naranja para cada uno de los lotes evaluados. La línea punteada naranja es la línea de tendencia de la cantidad de citratos presente en cada lote.

Se observa que entre mayor acidez existe la probabilidad de que se presente un mayor número de citratos.

Muestras evaluadas con acidez menor a 51% no presentaron citratos.

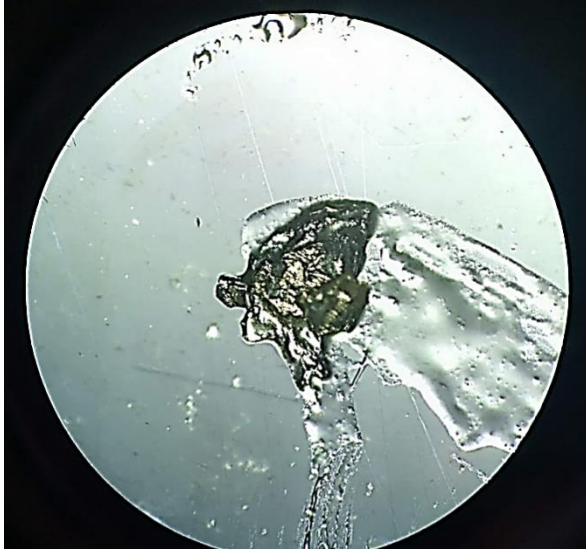
### Valores de acidez en función del número de citratos obtenidos para cada lote analizado.



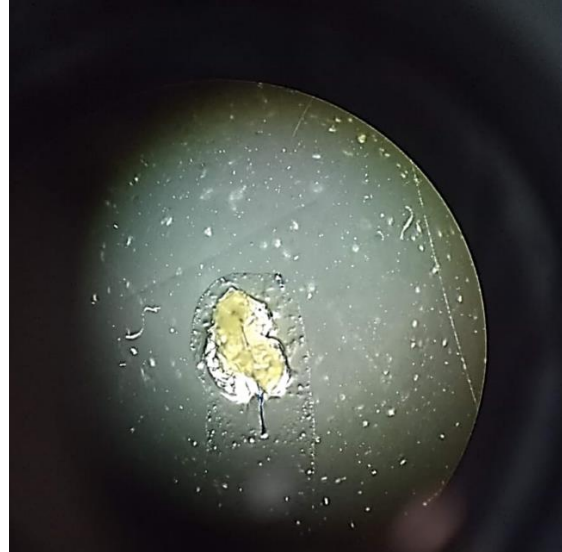
**Grafica 1.** Gráfica resultado 1, de valores de acidez por lote evaluados en función del número de citratos obtenidos para cada lote analizado. Se observa una relación directamente proporcional entre el porcentaje (%) de acidez y el número de citratos. Se presenta con línea azul (—) el porcentaje de acidez, en línea color naranja (—) los citratos obtenidos

Lo anterior permite saber que, si el jugo concentrado presenta mayor porcentaje de acidez, es mayor la probabilidad de que el lote contenga cristales de citrato, por lo cual se le recomendaría al cliente realizar una rehidratación del jugo y no utilizarlo directamente, debido a que puede presentarse un taponamiento en su sistema de operaciones y una pérdida de producción para el mismo.

En las figuras 7 y 8 se observan los cristales de citrato en el microscopio óptico con aumento de 40x, los cuales contienen restos de jugo concentrado, sin embargo, al paso de los días, pierden pigmentación y se deforman, como se puede observar en las figuras 9 y 10. Lo anterior podría ser debido a una potencial oxidación de los pigmentos.



**Figura 6.** Principios de formación de citrato, observado en el microscopio óptico en aumento de 40X, en el cual se puede observar que conserva su pigmentación amarillenta, parece una capa delgada de citrato.



**Figura 5.** Principios de formación de citrato, observado en el microscopio óptico en aumento de 40X, en el cual se observa en forma ovalada, con pigmentación más amarillenta esto por el jugo concentrado, parece una capa más gruesa de citrato.



**Figura 9.** Mismo citrato de la figura 7. Al paso de los días el citrato pierde pigmentación, se pone más claro y cambia un poco su forma, ahora es una capa delgada.



**Figura 10.** Al paso de los días la pigmentación de otros citratos se va perdiendo de amarillo a una tonalidad más clara, dejando ver sus tejidos y estructura.

**b) 4.1.2 Establecimiento de una ecuación empírica para relacionar el porcentaje de citratos en función del volumen de jugo concentrado**

Los resultados obtenidos en la técnica de laboratorio para la identificación de citratos en jugo concentrado de naranja rehidratado al 70% agua y 30 % alcohol implementando secado y pesaje de citrato obtenido de 150 gr. de muestra de jugo concentrado de naranja, después de lavar y realizar secado, se presenta los resultados de la Tabla 5.

*Tabla 5. Resultados de la técnica para la Identificación de Citrato en Jugo Concentrado de Naranja, en donde él % de citratos se obtuvo por el peso de la muestra fresca entre el peso del citrato aislado de ella.*

Muestra 1				Muestra 2		
LOTE	PESO MUESTRA (gr.)	PESO CITRATO (gr.)	% CITRATO	PESO MUESTRA (gr.)	PESO CITRATO (gr.)	% CITRATO
1	649.61	2.78	0.4%	649.61	2.28	0.4%
2	482.13	2.2	0.5%	686.46	2.93	0.4%
3	649.89	0.8	0.1%	567.59	3.37	0.6%
4	650.65	0.56	0.1%	0	0	0
5	665.99	1.55	0.2%	655.59	0.85	0.1%
6	648.71	7.22	1.1%	673.72	5.5	0.8%
TOTAL		15.11	2.3 %		14.93	

De acuerdo con las pruebas realizadas se pudo determinar la fórmula para poder estimar los gramos de citrato en N toneladas de producto, se toma como base una muestra de 150 gr. de jugo concentrado y se rehidrata 150 gr. De mezcla de agua y alcohol a un porcentaje de 70% y 30%, posteriormente este jugo rehidratado se filtra y los residuos en el filtro son pesados, la siguiente fórmula se utiliza para calcular el valor en % de citratos.

$$\% \text{ de Citratos} = \frac{\text{g de citratos}}{\text{g de jugo concetrado}} * 100 \quad \dots \text{Ec. 1 Calculo de valor en \% de citrato}$$

Ejemplo:

Muestra 1 del Lote 5. De acuerdo a la Tabla 5:

$$\% \text{ de Citratos} = \frac{1.55 \text{ g}}{665.99 \text{ g}} * 100$$

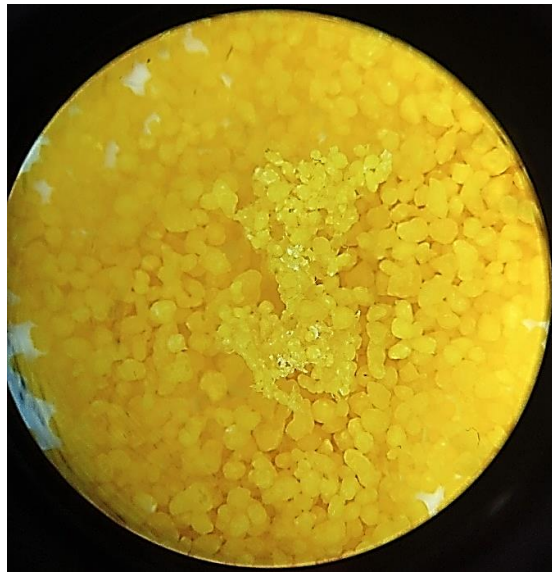
$$\% \text{ de citratos(p/p)} = 0.2 \%$$

Por lo cual, esta técnica establecida en el presente trabajo permite estimar la cantidad probable de citrato que puede presentarse en un lote de jugo concentrado y con ello reportar al cliente dicho valor, para evitar problemas ocasionados por la presencia de citratos en sus procesos.

En la figura 11, se presenta el citrato aislado, con la técnica de laboratorio de identificación de citratos en jugo concentrado de naranja al 70% agua y 30% alcohol implementando secado y pesaje de citrato obtenido de 150 gr de muestra de jugo. En la figura 12, se presenta los cristales vistos en el microscopio con aumento de 40X después de realizar el secado al citrato aislado.



**Figura 11.** Citrato de calcio recolectado, implementando la técnica de laboratorio de identificación de citratos en jugo concentrado de naranja al 70% agua y 30% alcohol implementando secado y pesaje de citrato obtenido de 150 gr. de muestra de jugo.



**Figura 12.** Citrato de calcio, observado en el microscopio en aumento de 40X. Los cristales se secaron y se analizaron en el microscopio óptico. Su apariencia presenta una pigmentación opaca, pero su textura es dura, lisa y de forma ovalada.

c) **4.1.3 Técnica de laboratorio recristalización de citratos en jugo concentrado de naranja.**

Se logró obtener la recristalización de citrato en un tiempo estimado de 4 a 5 días. La caracterización del citrato posee una gran ramificación, además de que se hizo una comparación entre el citrato en condiciones normales y citrato sin impurezas preservado en alcohol isopropílico, en donde ambos fueron apreciados en dos tipos de microscopio, el óptico y el compuesto, el citrato sin impurezas se apreció mejor por el color blanquecino debido a que estuvo preservado durante 2 meses en alcohol para poder tener una visualización mejor de él, sin restos de jugo concentrado, a diferencia del citrato que estuvo en condiciones normales.

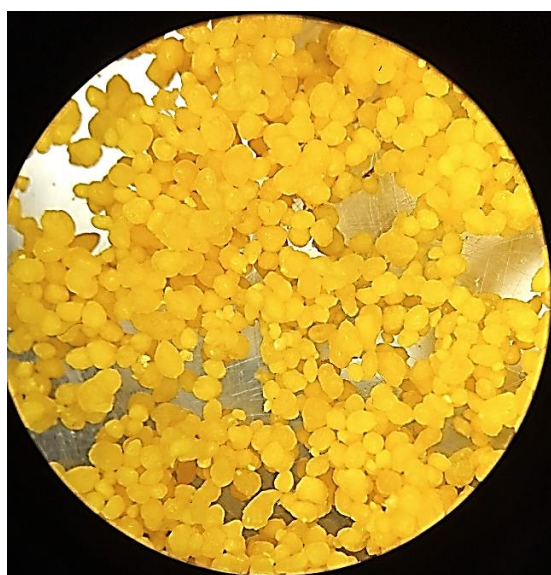
- **Cristalización 1: Citrato en condiciones normales**

La primera cristalización del citrato en condiciones normales fue obtenida mediante una rehidratación, secado por aire forzado y fue observado por un microscopio óptico en un aumento de 40X.

En la figura 13, se tiene el citrato previamente aislado y semipurificado, debido a que contiene en su interior restos de jugo concentrado y en la figura 14 se presenta el mismo citrato previo a su recristalización observado en el microscopio óptico con un aumento de 40X.



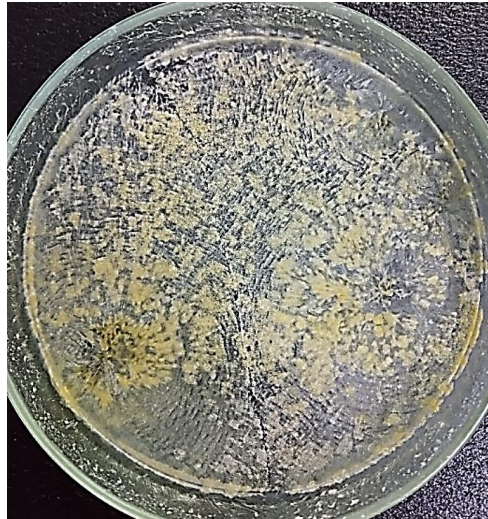
**Figura 13.** Citrato de calcio, recolectado, con pigmentación amarillenta debido a que presenta restos de jugo concentrado de naranja.



**Figura 14.** Citrato de calcio, antes de la recristalización, en donde se aprecia su forma ovalada, dura y su textura es lisa, observado en el microscopio óptico en aumento de 40X,

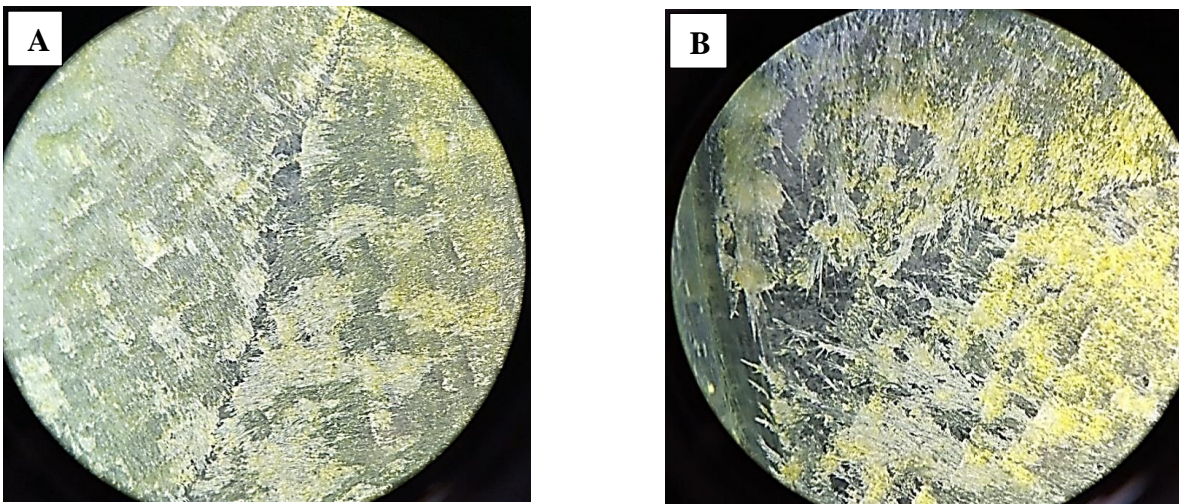


Posteriormente el citrato aislado fue recristalizado. Para ello se colocaron cristales en una caja petri y se diluyo en 3 ml de agua y 3 ml de alcohol, para ser mezclado vigorosamente con ayuda de un agitador, colocado en el horno para forzar la disminución del agua y finalmente llevado al refrigerador para acelerar el proceso de recristalización. La figura 15 se presenta el resultado de la recristalización del citrato de calcio en condiciones normales, debido a que este, contenía en su interior restos de jugo concentrado, se puede apreciar una pigmentación amarilla-naranja.



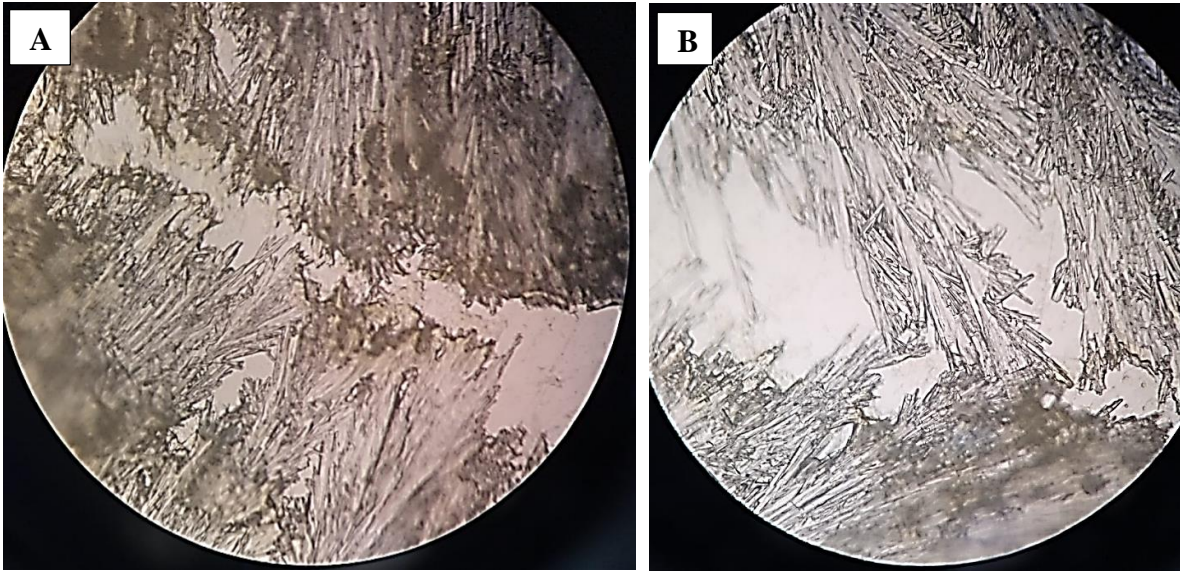
**Figura 15.** *Citrato de calcio en condiciones Normales Recristalizado, debido a que posee restos de Jugo concentrado hace que se vea amarillento.*

La figura 16A, se observa la recristalización de citrato en el microscopio óptico con aumento de 40X, y en la figura 16B es un campo visual diferente del mismo. Debido a la presencia de jugo concentrado, se aprecia una serie de ramificaciones.



**Figura 16AB.** *Recristalización de citrato, observado en el microscopio óptico en aumento de 40X, en condiciones normales, debido a que el citrato de calcio absorbe el jugo concentrado, se observa pigmentación amarillenta, sin embargo, se aprecia la recristalización en forma de ramificaciones.*

La figura 17A y la figura 17B, son una comparación de la misma muestra de la figura 16AB, debido a que, en este caso, se implementó el uso de un microscopio compuesto con un aumento de 10X, presentando ramificaciones más definidas.



*Figura 17 AB. Comparando con la figura 16AB, observado en un aumento de 10X, los cristales se logran apreciar de mejor manera, los cristales poseen forma de ramificaciones.*

- **Cristalización 2: Citrato sin impurezas**

Para la segunda cristalización se tomó 0.06 gr. de citrato recién aislados y fueron colocados en un tubo de ensaye de 10 ml. con apoyo de un asa. Posteriormente, se le agrego alcohol isopropílico hasta la mitad del tubo, se colocó un tapón de algodón para evitar su contaminación y se resguardo a temperatura ambiente. Finalmente estuvo preservado durante un tiempo estimado de 2 meses para obtener una semipurificación de los cristales de citrato.

En la figura 18, se puede observar el citrato semipurificado, preservado en alcohol isopropílico durante 2 meses.



*Figura 18. Citrato de calcio sin impurezas preservado en alcohol, el citrato fue sometido al alcohol durante 2 meses para poder retirarle los restos de Jugo concentrado que aún conservaba.*

La figura 19, se tienen los 0.06 gr. de citrato preservado en alcohol isopropílico durante 2 meses, presentando una apariencia lechosa, porosa y con una capa blanca, observado en el microscopio óptico en un aumento de 40X.



*Figura 19. Citrato de calcio sin impurezas preservado en alcohol, observado en el microscopio en aumento de 40x, antes de la recristalización, en donde se observa partes blanquecinas en la mayoría de su estructura, además de tener una apariencia lechosa.*

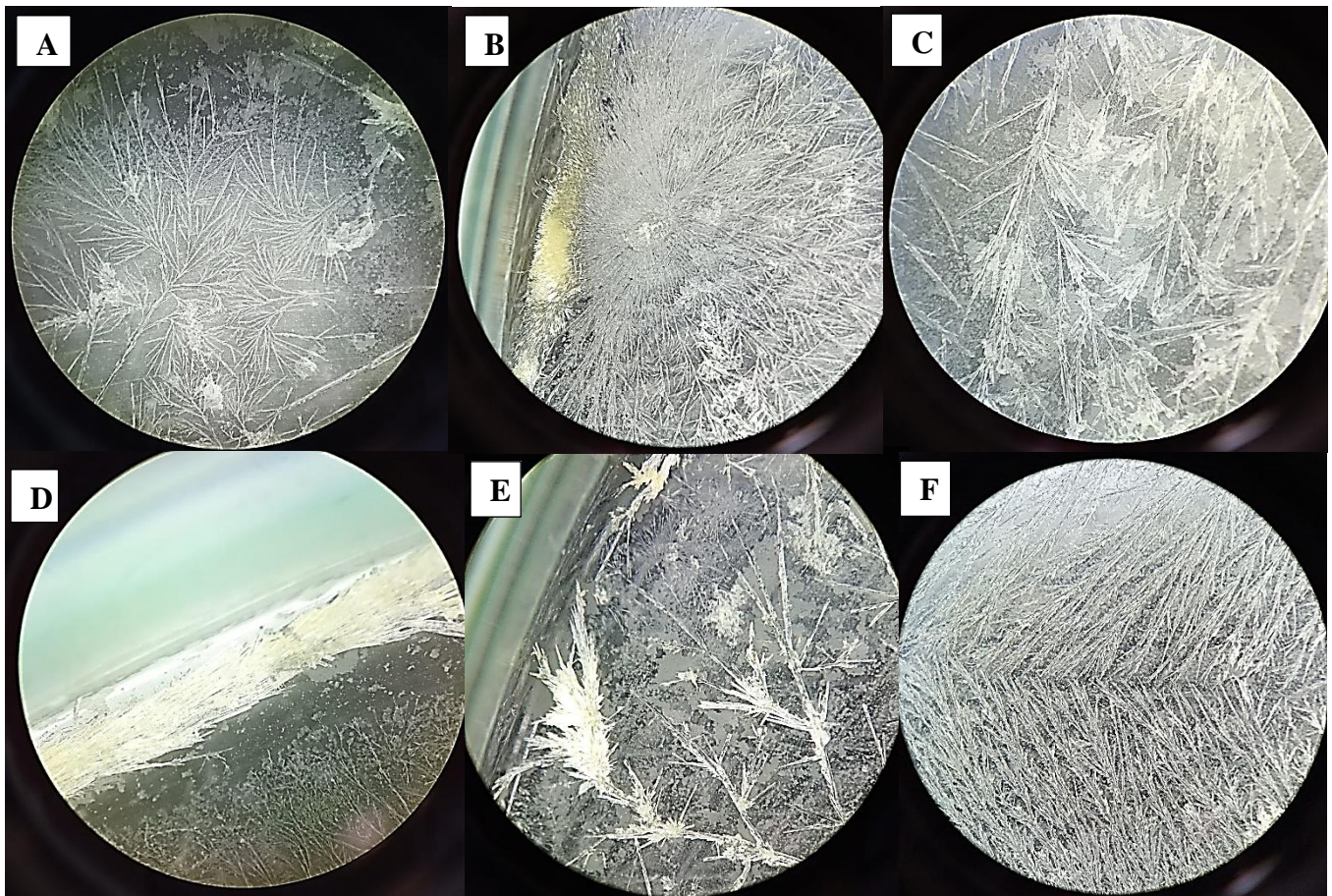
Posteriormente el citrato sin impurezas fue colocado en una caja petri y diluido en 5 ml de agua y 5 ml de alcohol, para ser mezclado vigorosamente con ayuda de un agitador, colocado en el horno para forzar la disminución del agua y finalmente llevado al refrigerador para acelerar el proceso de recristalización.

La figura 20 se presenta el resultado de la recristalización del citrato de calcio sin impurezas, debido a que estuvo preservado en alcohol se puede observar unas ramificaciones color blancas.



**Figura 20.** Recristalización de Citrato en condiciones libre de impurezas, debido a que se preservó en alcohol.

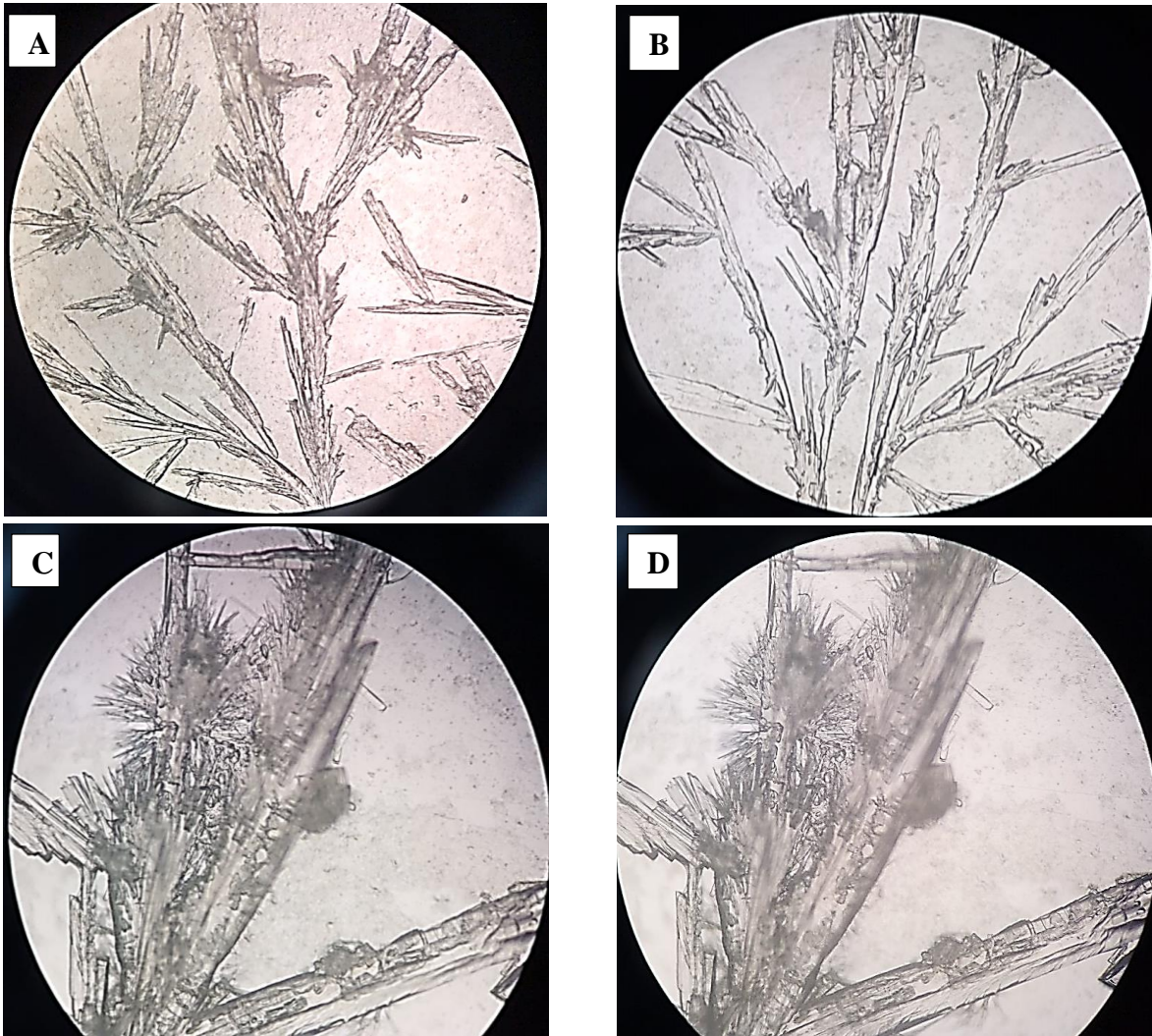
La figura 21A, B, C, D, E y F, se observó en el microscopio óptico en aumento de 40X, diferentes campos visuales del mismo, debido a que este estuvo preservado en alcohol, es más factible poder apreciar las ramificaciones en la figura 21 A, C y E y en otros campos como los de la figura 21 B y F presenta apariencia de aguja, en el caso del campo de la figura 21D se presentan cristales más compactado y entrelazados.



**Figura 21ABCDEF.** Recristalización de Citrato en condiciones libre de impurezas, observado en el microscopio óptico en aumento de 40x, debido a que se preservó en alcohol, debido a que está libre de jugo concentrado, se puede apreciar mejor las ramificaciones y formación de cristales del citrato, en donde se aprecia como en forma de raíces y ramas.

Además de que se considera una similitud a los cristales del ácido ascórbico, sin embargo, debido a los parámetros de solubilidad de ambos, se descartó la posibilidad de que este defecto sea ácido ascórbico, por lo cual se sigue sosteniendo la ideología que es Citrato de Calcio.

En la figura 22ABCD, es una comparación de la misma muestra de la figura 22ABCD, debido a que, en este caso, se implementó el uso de un microscopio compuesto con un aumento de 10X, presentando ramificaciones más definidas y a su vez con forma de aguja.



**Figura 22.** Recristalización de citrato en condiciones libre de impurezas, observado en el microscopio compuesto en aumento de 10X, debido a que se preservó en alcohol, se puede observar apariencia blanquecina, los cortes y ramificaciones se observan más, el citrato tiene característica en ramificación cuando es recristalización, pero en su forma sólida posee una apariencia de canica.

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES**

Dentro de los objetivos que se plantearon y la información analizada, se cumplieron los objetivos planteados por la empresa CITRICOS EX de S.A de C.V, desarrollando a lo largo de mi estancia en el laboratorio de control de calidad los siguientes resultados.

- Técnica de Laboratorio para estimar citratos dentro del Jugo Concentrado de Naranja.
- Ecuación empírica para estimar la cantidad aproximada de Citrato presente en un lote.
- Con los datos de la cantidad aproximada de Citrato presente en un lote, reportar al cliente y con ello prevenir potencial daño a sus procesos industriales

Cada uno de estos puntos, fueron evaluados y resueltos, dentro de las técnicas evaluadas y las características que se pudieron alcanzar en base a las pruebas,

Personalmente, los conocimientos aprendidos durante el desarrollo de este proyecto fortalecerán mi formación académica

En conclusión, el proyecto se cumplió con el plan diseñado, los objetivos fueron alcanzados, pues ahora esta técnica puede ser usada con confianza dentro de la empresa.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adriana V. (2011). La importancia de tomar zumo de naranja para tu salud, de Bekiasalud (Disponible en: <https://www.bekiasalud.com/articulos/la-importancia-de-tomar-zumo-de-naranja-para-tu-salud/>)
- Anna Czech. (27/04/2009). Contenido en Minerales de la pulpa y la cáscara de varios cítricos. En Mineral Content of the Pulp and Peel of Various Citrus Fruit Cultivars (556). Springer Nature: Springer Nature.
- Antonio Hernández. (2006, 27 septiembre). Citrato de calcio. Documento PDF.
- Antonio R. (2010). Flujo del proceso productivo y escalas de producción. (Disponible en: <http://www.contactopyme.gob.mx/cpyme/guiasempresariales/guias.asp?s=14&guia=20&giro=1&ins=784#:~:text=Recepci%C3%B3n%20y%20almacenamiento%20de%20materia%20prima.&text=El%20almacenamiento%20de%20la%20naranja,15%20de%20%20en%20condiciones%20normales>).
- Yara M. (2019, 21 febrero). Calcio en la producción de cítricos. (Disponible en <https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/citricos/calcio-en-la-produccion-de-citricos/#:~:text=Despu%C3%A9s%20de%20siete%20a%C3%B1os%20de,de%20des%20ordenes%20de%20los%20frutos>)
- Carmen, M. (s. f.), (2008). *Partes de una Naranja. Anatomía de un Cítrico*. Citrus, (Disponible en: <https://blog.supernaranjas.com/2019/partes-de-una-naranja-anatomia-de-un-citrico/>)
- Yara M., (2018, 28 agosto). Deficiencia de calcio en naranja-Cítricos. (Disponible en: <https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/citricos/deficiencias-citricos/deficiencia-de-calcio-en-naranja-citricos/>)
- E. Frometa M., Miriam Álvarez y E. Howell. (1979). Fenología en cítricos. En Naranja Valencia (*Citrus sinensis* OSBECK (489-497). Trabajos fenológicos en agrios.: Edición Revolucionaria.
- F. Karadeniz. (2003). Distribución principal de ácidos orgánicos de jugos cítricos auténticos en Turquía. Universidad de Ankara, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Alimentos, Campus de la Facultad de Agricultura.



- Francia Elena Valencia García. (2011). El calcio en el desarrollo de alimentos funcionales. En CALCIO (104). Lasallista de Investigación. Vol. 8.
- Frometa, E.; M. Álvarez y E. Howell. 1978. Fenología en cítricos I. Naranja 'Valencia' *Citrus sinensis* Os Beck. *Agrotecnia de Cuba* 10 (1): 7-19.
- Jiménez, S. (s. f.). *La naranja*. SlideShare. 2022, (Disponible en: <https://es.slideshare.net/SanticrisJJ/la-naranja-43593831>)
- Julio E. Van Der Laat S. (1954). Estudio Comparativo del contenido de ácido cítrico y vitamina C en el jugo de algunas variedades de Citrus de Uso popular. Tesis 21 pp. Ciencias Naturales y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Karem M, F. (2019, 2 diciembre). *Fenología de los Cítricos*. El blog de Fagor. Artículos y noticias sobre agricultura. 2022, de <https://blogdefagro.com/2019/12/02/fenologia-de-los-citricos/>
- María C. S. (2021). Cambios fisicoquímicos, color de la cáscara y atributos del jugo de Cultivares de naranja sanguina almacenados a diferentes temperaturas. En *Horticultura* (13). PD: María Concetta Strano
- Ollachica Choque, Silvia Elizabeth. (2004). Industrialización del zumo de naranja (*citrus sinensis* l. os Beck). de CONCYTEC (Disponible en: [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI\\_22baccb50b818a5859ab4e3c904c1d2](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_22baccb50b818a5859ab4e3c904c1d2))
- Philip R. Ashurst (editor), Springer Science and Business Media LLC, 1999. Producción y envasado de jugos de frutas y bebidas de frutas sin gas (segunda edición)
- Reuter, W. L.D. Batchelor y H.J. Weber (eds.). 1967. *The Citrus Industry*. Vol I:1-37. Univ. of California Press, USA.
- Walton B. (1908). Fisiología Vegetal. En *Análisis de los ácidos orgánicos del jugo de naranja* (16). PDF: Sinclair, E. T.
- Willard M. Reuter. (2015). Análisis de Orgánico y Ácidos en jugos de grutas por Detección HPLC y UV. En *Cromatografía Líquida* (4). PDF: Perkin Elmer.