



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**“EXTRACCIÓN Y PURIFICACIÓN DE CARBOHIDRATOS PRESENTES EN AJO  
(*Allium Sativum L.*) ACEBOLLADO Y AJO DIFERENCIADO”**

**TESIS INDIVIDUAL**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERO QUÍMICO EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**JOSÉ ARMANDO ORIA JUÁREZ**

**DIRIGIDA POR:**

**Dra. MA. ESTELA VÁZQUEZ BARRIOS**

**SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, 2023**



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales  
de Información



EXTRACCIÓN Y PURIFICACIÓN DE CARBOHIDRATOS  
PRESENTES EN AJO (*Allium Sativum* L.)  
ACEBOLLADO Y AJO DIFERENCIADO

**por**

José Armando Oria Juárez

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

**Clave RI:** FQLIN-144065



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

## FACULTAD DE QUÍMICA

“EXTRACCIÓN Y PURIFICACIÓN DE CARBOHIDRATOS PRESENTES EN AJO  
(*Allium Sativum L.*) ACEBOLLADO Y AJO DIFERENCIADO”

### TESIS INDIVIDUAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO EN ALIMENTOS**

PRESENTA

JOSÉ ARMANDO ORIA JUÁREZ

DIRIGIDA POR

Dra. MA. ESTELA VÁZQUEZ BARRIOS

### SINODALES

Dra. Ma. ESTELA VÁZQUEZ BARRIOS  
DIRECTORA

Dr. EDMUNDO MERCADO SILVA  
SINODAL

Dra. DULCE MARÍA RIVERA PASTRANA  
SINODAL

M. en C. FRANCISCO I. CARRILLO NAVARRETE  
SINODAL

## ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	i
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	iii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	iv
<b>RESUMEN</b>	
<b>I. ANTECEDENTES</b>	1
1.1 EL AJO	1
1.1.1 Importancia económica del ajo	1
1.1.2 Cultivo del ajo	3
1.1.3 Índices de cosecha y manejo pre-cosecha	6
1.1.4 Índices de Madurez	8
1.1.5 Cultivares de bulbo morado	9
1.1.6 Cultivares de bulbo blanco	10
1.1.7 Composición nutrimental del bulbo	11
1.1.7.1 Carbohidratos presentes en el género <i>Allium</i>	12
1.1.7.1.1 Carbohidratos simples en bulbos de ajo	13
1.1.7.1.2 Carbohidratos complejos	15
1.1.8 Factores de calidad de bulbos de ajo	18
1.1.9 Desordenes fisiológicos en bulbos de ajo	20
1.1.9.1 Rompimiento ceroso	20
1.1.9.2 Acebollado	21
1.1.9.3 Rebrotado	24
<b>II. OBJETIVOS</b>	26
2.1 GENERAL	26
2.2 Específicos	26
<b>III. METODOLOGÍA</b>	27
3.1. MATERIALES	27
3.1.1 Material biológico	27

3.1.2 Reactivos	27
3.2 MÉTODOS	28
3.2.1 Extracción de Carbohidratos	28
3.2.2 Identificación de almidón	30
3.2.3 Cuantificación de azúcares reductores	30
3.2.4 Cuantificación de sacarosa y fructanos	31
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>32</b>
4.1 RENDIMIENTO EN LA EXTRACCIÓN DE CARBOHIDRATOS	32
4.2 IDENTIFICACIÓN DE ALMIDÓN	34
4.3 CUANTIFICACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES	35
4.4 CUANTIFICACIÓN DE FRUCTANOS	36
<b>V. CONCLUSIONES</b>	<b>39</b>
<b>VI. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>40</b>
<b>VII. ANEXOS</b>	<b>45</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Producción mundial de ajo (ton)	2
2. Principales componentes en 100 g de porción comestible del ajo fresco	11
3. Contenido de vitaminas de 100 gramos de ajo fresco	12
4. Contenido de minerales en 100 gramos de ajo fresco	13
5. Contenido de carbohidratos en 100 gramos de muestra fresca	33
6. Contenido de carbohidratos en muestras de ajo, cebolla e inulina	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Principales productores de ajo en México	3
2. Estructura de la planta de ajo (Pueseglove, 1985)	4
3. Bulbos de ajo ( <i>Allium sativum</i> )	5
4. Bulbo de ajo Morado	10
5. Bulbo de ajo blanco	10
6. Diferentes representaciones de la D-glucosa (dextrosa)	14
7. Estructura de la Sacarosa	15
8. Estructura química del almidón: amilosa y amilopectina	16
9. Diferentes tipos de fructanos	19
10. Estructura sugerida para el fructano de ajo	20
11. Bulbo de ajo diferenciado	21
12. Parálisis cerosa (waxy breakdown') en dientes de ajo	22
13. Defectos presentes en el ajo	23
14. Comparación visual de plantas de ajo derivadas de pre tratamientos	23
15. Esquema general del proceso de extracción de carbohidratos	29
16. Reacción de oxidación de azúcares reductores	30
17. Residuo de las filtraciones durante la extracción de carbohidratos.	32
18. Prueba de Lugol para evidenciar la presencia de almidón en muestras.	35

## RESUMEN

El ajo (*Allium sativum* L.) es un cultivo de gran importancia económica en México; sin embargo, puede llegar a presentar pérdidas de hasta 50 % por una fisiopatía denominada ajo no diferenciado; es decir, que los bulbos no desarrollan adecuadamente y por tanto no tienen valor comercial. Se extrajeron los carbohidratos de bulbos de ajo diferenciado, ajo no diferenciado y cebolla blanca, a los cuales se les determinó la presencia de almidón, el contenido de fructanos, de azúcares reductores y de sacarosa. Los resultados mostraron que los bulbos de cebolla blanca presentan diferencia significativa en el contenido de carbohidratos totales respecto de ambos tipos de bulbos de ajo; la cebolla blanca tuvo un menor rendimiento de extracción del 22.03 %, mientras que para el ajo diferenciado fue de 80.16 % y para ajo no diferenciado de 72.23 %. De los carbohidratos obtenidos se observó que el de mayor presencia en las muestras de ajo diferenciado y ajo no diferenciado corresponde a fructanos con 96.65 y 82.33 %, respectivamente; mientras que para la cebolla blanca es la sacarosa con 75.79 %. Lo relevante de este trabajo es que las muestras de ajo no diferenciado que no tienen valor comercial presentan altos niveles de fructanos tipo inulina, lo que representa una alternativa para poder proponerlos como fuente de estos polisacáridos y a su vez poder proponerlos como aditivo alimentario, como lo hace inulina la cual tiene una variedad de aplicaciones en la industria de alimentos.



## I. ANTECEDENTES

### 1.1 El ajo

El ajo (*Allium Sativum L.*) pertenece a la familia *Liliaceae* es una planta ampliamente distribuida desde la antigüedad, es reconocida mundialmente como un condimento valioso en la cocina y como agente terapéutico en el tratamiento de varios desórdenes alimenticios y enfermedades (Mujica y Pérez, 2006).

Diversos escritos ponen de manifiesto su uso como ungüento contra dolor muscular e hinchazón, en forma de infusión para aliviar fiebre, resfriados y favorecer la digestión, entre otros usos (Torija y col., 2013). Sin embargo, fue hasta los egipcios, griegos y romanos cuando el ajo se utilizó como hierba aromática en alimentos y bebidas.

#### 1.1.1 Importancia económica del ajo

De acuerdo con la información proporcionada por la FAO, los ajos frescos son originarios de Asia Central, su uso como condimento y planta medicinal se ha generalizado en el mundo, de manera que su cultivo se realiza en más de cien países, en especial en los países del Asia. Sin embargo, también ha llegado al continente americano y se extiende desde los Estados Unidos hasta Chile, pero en menor escala. La principal región productora es China que representa en promedio el 78 % del total producido en el mundo, le sigue en importancia, aunque en una menor proporción la India (6 %) y más abajo otros países asiáticos como Bangladesh (1.78 %), República de Corea (1,2 %), ver Cuadro 1.

Es importante destacar la variedad y calidad de ajo que se cultiva en cada región, el ajo de origen chino (blanco o violeta) es más pequeño y suave, con menor intensidad, a diferencia del ajo rosado, morado, que se produce en lugares como Perú y otras regiones que es más intenso, fragante y por lo cual se necesita menor cantidad para poder sazonar un platillo; sin embargo la gran diferencia se encuentra en el precio, que por economías

de escala y calidad el ajo chino es más barato, lo cual ha motivado que el ajo chino se haya difundido por el mundo y haya limitado las posibilidades de un crecimiento de las exportaciones.

La inmensa capacidad de la superpotencia asiática define la política de precios a nivel internacional. Sin embargo cerca del 70 % de la producción de china es destinada al mercado local y a la exportación como producto en fresco, mientras que el resto es procesado por la industria local y comercializada en forma deshidratada, pasta, aceite y otros usos (Viola, 2017).

Cuadro 1. Producción mundial de ajo (ton)

<b>N°</b>	<b>PAÍSES</b>	<b>2021</b>	<b>PARTICIPACIÓN (%)</b>
<b>1</b>	China	20,513,385	72.73
<b>2</b>	India	3,190,000	11.31
<b>3</b>	Bangladesh	501,611	1.78
<b>4</b>	Egipto	348,230	1.24
<b>5</b>	España	315,720	1.12
<b>6</b>	Rep. Corea	308,532	1.09
<b>7</b>	Ucrania	215,080	0.76
<b>8</b>	Myanmar	210,861	0.75
<b>9</b>	Uzbekistán	195,467	0.69
<b>10</b>	EE. UU	190,146	0.67
<b>16</b>	México	89,791	0.32
	otros	2,126,031	7.54
	<b>Mundo</b>	<b>28,204,854</b>	<b>100</b>

Fuente: FAOSTAT- 2022

En el caso de México nos ubicamos en la posición número 16 a nivel mundial, de acuerdo con los datos de la FAO en 2022. A nivel nacional los estados de mayor producción son el estado de Zacatecas, Guanajuato, Puebla y Sonora (Figura 1).

En la producción de ajo correspondiente a Otoño-Invierno 2020 en México se sembraron un total de 6,463 hectáreas de las cuales se cosecharon 6,375 con una pérdida de 87 hectáreas siniestradas (superficie sembrada pero no germinada), esto dio una producción total de 81,890 toneladas obteniendo un rendimiento de 12,844 toneladas por hectárea.

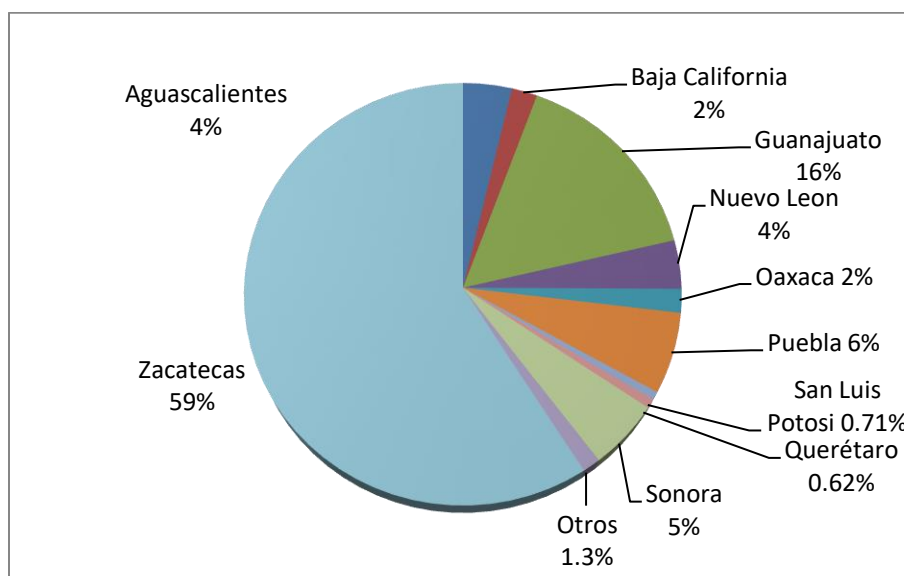
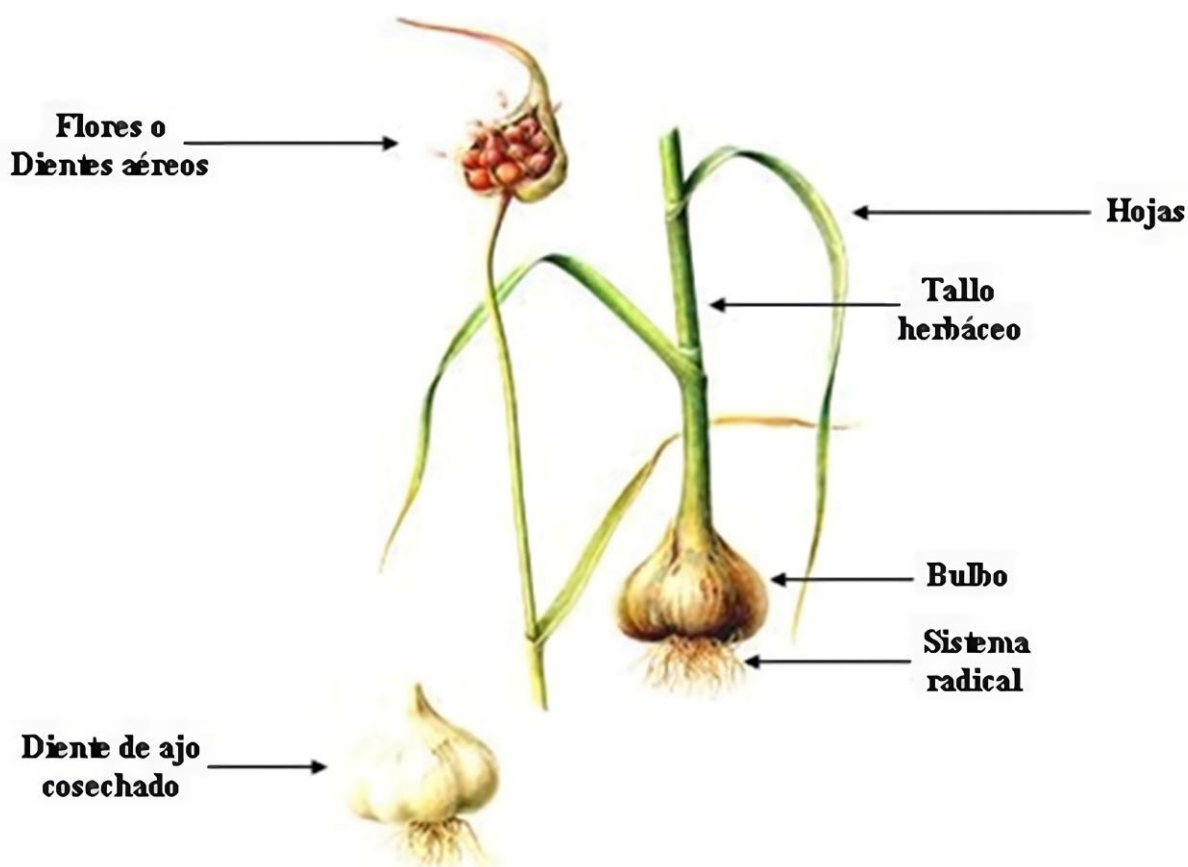


Figura 1. Principales productores de ajo en México. Fuente: Elaboración propia con datos del servicio de información agroalimentaria y pesquería (SIAP, 2020).

### 1.1.2 Cultivo del ajo

El ajo es una planta de bulbo tunicado bianual, pero de cultivo anual; su multiplicación se efectúa a través de bulbillos o dientes. Las plantas llegan a tener una altura de 40 a 60 cm, es una planta herbácea, bulbosa perenne, sus bulbos son odoríferos. El bulbo formado y maduro está compuesto desde 1 a 30 bulbillos o dientes, según la variedad; su tallo floral, cuando se presenta, termina en una inflorescencia llamada umbrela de

color rosado y fructifica para producir semilla. La raíz es superficial, semejante a la que tiene la cebolla (Terán., 1997), es adventicia y puede tener entre 5 y 45 cm de profundidad, aunque llegan a medir hasta 70 y 80 cm de longitud (Figura 2).



**FIGURA 2.** Estructura de la planta de ajo (Pueseglove, 1985).

El verdadero tallo mide cerca de 30 mm de diámetro y 5 mm de altura y tiene forma de plato, del cual nacen las hojas de almacenamiento y las raíces, las hojas verdaderas miden de uno a 3 cm de ancho y de 20 a 50 cm de largo, están formadas por una vaina y un limbo aplanado, estrecho, largo y fistuloso, con una nervadura central bien desarrollada y con terminación en punta; el falso tallo es corto y erecto y está constituido por las vainas de las hojas.

El bulbo está compuesto de varios bulbillos o dientes unidos en su base Figura 3A que se forman en las axilas de las hojas en número de seis o siete en adelante, por lo que se les considera hojas transformadas que sirven para almacenar reservas; en el interior de los bulbillos se observa la hoja de brotación (Figura 3B y 3E) que es la responsable de dar origen a la nueva planta (Figura 3D). Los bulbillos son envueltos de manera individual por túnicas interiores Figura 3A, mientras que el bulbo completo es envuelto por túnicas exteriores membranosas de coloraciones que van del blanco al rojizo o púrpura y que se forman en el interior de las hojas envainadas (Figura 3C) (Kamenetsky y Rabinowich. 2006.)

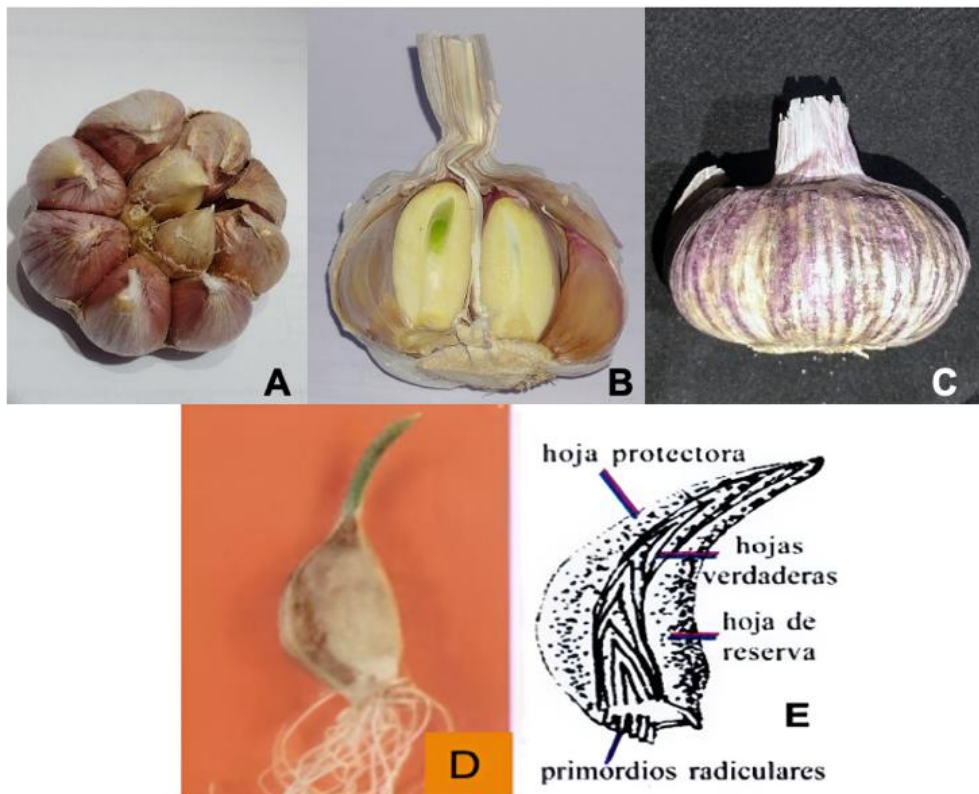


Figura 3. Bulbos de ajo (*Allium sativum*). A): Bulbillos, B) corte longitudinal mostrando la hoja de almacenamiento y hoja de brotación, C) esquema del bulbo completo, D) bulbillo brotado y con raíz, E) esquema de un corte longitudinal de un bulbillo. A, B y C imágenes propias. D y E tomado de Bianco., 2004.

### 1.1.3 Índices de cosecha y manejo pre-cosecha

El bulbo de ajo se caracteriza por tener un periodo de dormancia; es decir, un periodo fisiológico en el que el bulbo de ajo no brota pero se mantiene vivo. Para cortar o romper la dormancia los bulbillos o dientes se separan del bulbo o cabeza y se seleccionan los dientes de primera calidad (Stahlschmidt, 1989)

Cuando los bulbillos, o “semillas” se siembran en tierra, después de 30 días, los bulbillos comienza la etapa de brotación y es donde aparece la hoja de brotación que dará paso a la nueva planta. Posterior a la brotación comienza el crecimiento inicial donde se forma el sistema radicular y las hojas verdaderas. Pasado este periodo se presenta el crecimiento vegetativo en el cual crecen las hojas aéreas y el comienzo de las yemas laterales. Posteriormente, comienza a la formación del nuevo bulbo, esta etapa consta de dos etapas, la primera llamada “inductiva” donde requiere de frío y días largos; y la segunda etapa de nombre “morfogénica” con temperaturas más cálidas y alargamiento de los días que favorecen la formación del nuevo bulbo (Portela, 1996).

La última etapa de crecimiento llamada diferenciación, es la etapa en la que se forman los bulbillos o dientes de ajo; esta etapa se caracteriza por los síntomas de senescencia de la planta la cual termina con la muerte de las hojas aéreas marcando el final del ciclo y el comienzo de dormancia o letargo del nuevo bulbo, es en este momento cuando la planta está lista para ser cosechada (Portela, 1996).

El desarrollo de cualquier cultivo depende de factores tales como la variedad, el clima, el suelo, prácticas culturales, la nutrición y la humedad, los cuales difieren en cada región. Las técnicas apropiadas de producción se deben seguir para obtener el rendimiento máximo de productos de calidad. El ajo es un cultivo de invierno que puede iniciar su desarrollo en el otoño o muy temprano en primavera al prevalecer temperaturas entre 13 y 24 °C (55 a 75 °F) como rango óptimo, 7 °C (45 °F) como mínimo y 30 °C (86 °F) como máxima. Si los dientes de ajo y plantas jóvenes han sido expuestos a temperaturas de 0 a 10 °C (32 a 50 °F) de uno a dos meses la formación de bulbos se acelera. Cuando no

ha ocurrido una exposición a temperaturas de menos 20 °C (68 °F) la formación de bulbos puede no ocurrir aún en días largos.

El ajo se adapta a un amplio rango de texturas de suelo. Sin embargo, se desarrolla mejor en suelos francos ligeramente arenosos. Es importante que los suelos tengan un buen drenaje debido a que los suelos con texturas pesadas dificultan el desarrollo del bulbo y ocasionan su deformación. Es moderadamente tolerante a pH ácido (6.8 a 5.5). En cuanto a la respuesta a la salinidad, se le considera semi-tolerante a sales del suelo (3.9 dS/m) (Zamora, 2016). La bulbificación se lleva a cabo durante los días más largos y a alta temperatura; la exposición a bajas temperaturas posteriores a la formación del bulbo favorece el proceso, al igual que la presencia de crecimiento vegetativo adecuado. La duración del día crítico para la formación de bulbos es de 12 horas (Pandey, 2012).

Tres productos pueden ser cosechados del ajo entre ellos están los escapos florales, los ajos verdes y los bulbos frescos (Goldy, 2000) Figura 2. Los ajos verdes, también llamados ajos de primavera, son ajos tiernos que se usan aun cuando la planta no ha iniciado a formar los dientes o bulbillos, y se utilizan en algunas recetas de cocina.

Los escapos florales también se cosechan para su uso principalmente en la cocina como ingrediente principal o como condimento. Investigaciones realizadas en Minnesota, y Washington, Estados Unidos demuestran que se llega a reducir el rendimiento del ajo en un 20 a 30 % si se dejan madurar los escapos en la planta (Pelter y col., 2005 y Rosen y col., 2008). El momento recomendado para la cosecha de escapos es cuando estos empiezan a rizarse o enroscarse.

El principal producto a cosechar del cultivo del ajo, por su volumen de producción, lo constituye sin duda el bulbo o cabeza. Es importante que los bulbos conserven sus hojas envolventes o catáfilas completas así como el color característico natural de la variedad. Por lo que es muy importante definir con precisión el momento oportuno de cosecha del ajo, ya que en la última etapa de desarrollo del cultivo es común que el tamaño del bulbo se llegue a duplicar (Bachman, 2008) debido a la acumulación de sólidos solubles totales (Oliveira y col., 2003; Oliveira y col., 2004), lo cual resulta en mayores rendimientos; sin

embargo, es pertinente cuidar que el momento de arranque de las plantas no se retrase demasiado ya que se puede traducir en el secado excesivo de las hojas envolventes que se refleja en mayor porcentaje de ajos pelados, partidos o incompletos.

Cuando la cosecha se realiza sin que los bulbos hayan logrado su completa madurez fisiológica es común que no toleren las condiciones de almacenamiento traduciéndose en pérdidas, además de que el rendimiento es menor. Además, el alto contenido de humedad en sus hojas protectoras o catáfilas favorece la acumulación de agua libre en los bulbos lo que a su vez permite la brotación temprana y el desarrollo de patógenos (Ávila, 1999).

#### 1.1.4 Índices de Madurez

Desde el punto de vista biológico se ha podido conceptualizar la madurez fisiológica del bulbo de ajo. Así se ha determinado que la yema durante el letargo no tiene su crecimiento, sino que pone en marcha una serie de procesos morfo-fisiológicos preparatorios para el estado de brotación (aproximadamente entre 60 y 80 días post-cosecha para una determinado cultivar) en el que se puede considerar al diente “semilla” como fisiológicamente maduro, condición para la plantación. Desde el punto de vista tecnológico el significado y medición de índices de madurez se constituye en un eje central para la tecnología de post-cosecha. (Reid 1992)

Existen diferentes índices que pueden usarse para determinar la madurez de los bulbos de ajo:

Numero de hojas envolventes del bulbo: Las hojas envolventes o catáfilas son aquellas que cubren al bulbo o cabeza y que al secarse se tornan delgadas y apergaminadas. El uso del número de hojas envolventes como criterio de madurez está relacionado con el desarrollo general del bulbo y con el desarrollo particular de los dientes o bulbillos.

La coloración de las hojas fotosintéticas es un criterio que algunos autores recomiendan tomar en cuenta para definir el momento oportuno de inicio de cosecha, para lo que



sugieren iniciar al momento en que las hojas empiecen a cambiar de color y a tomar una coloración café o amarillenta dependiendo de la variedad (Boundary Garlic, 2006).

Estado de las inflorescencias. En Canadá se recomienda que el momento de cosecha del ajo para variedades de cuello duro es cuando los escapos florales están totalmente extendidos, pero sin que hayan abierto las inflorescencias (BCMAFF, 2004).

El grosor del cuello de la planta y diámetro del bulbo. Se considera que el grado de madurez de los bulbos está asociado con la relación que existe entre su diámetro ecuatorial y el diámetro del cuello de la planta, se ha establecido que cuando el diámetro ecuatorial es alrededor de 3.7 veces el del cuello es el momento oportuno de iniciar la cosecha, mientras que si esta relación sigue creciendo hasta alcanzar valores cercanos a 4.

Porcentaje que ocupan los dientes en el diámetro del bulbo: Los bulbos están maduros cuando los dientes formados ocupan casi la totalidad del diámetro ecuatorial del mismo y las hojas envolventes han reducido notoriamente su espacio dentro del mismo, de tal manera que el porcentaje de diámetro ocupado por los dientes debe ser de 90 como máximo.

#### 1.1.5 Cultivares de bulbo morado

La altura de las plantas es de 70 cm aproximadamente, con follaje semiabierto de color verde intenso. Sus bulbos son morados o jaspeados y llegan a tener de 1 a 30 bulbillos (Figura 2); su ciclo vegetativo es de alrededor de 160 días. Particularmente el cultivar Taiwán se caracteriza por que su ciclo vegetativo es de 170 días de la siembra a la cosecha, sus plantas presentan una altura de aproximadamente 80 cm, sus hojas son anchas de color verde plateado o cenizo. Los bulbos están formados por 1 a 30 bulbillos de color jaspeados; es decir, tienen tonos morados pardos y blancos, Figura 4.



Figura 4. Bulbo de ajo Morado. Martín, (2017)

#### 1.1.6 Cultivares de bulbo blanco

Los cultivares blancos se caracterizan por presentar túnicas blancas brillantes desde sus bulbillos y el bulbo en general. En el cultivar blanco precoz la altura de sus plantas es de 80 a 90 cm aproximadamente con hojas de color verde cenizo, delgadas y muy largas. Los bulbos son blancos con 25 a 35 bulbillos. Su ciclo vegetativo es de alrededor de 150 días de la siembra a la cosecha.

Por su parte el cultivar blanco tardío presenta una altura de la planta de 70 cm aproximadamente, con hojas anchas de color verde alimonado. Los bulbos son blancos Figura 5. El número de dientes por bulbo varía de 10 a 20 y su ciclo vegetativo es de alrededor de 190 días de la siembra a la cosecha (Pérez, 2003).



Figura 5. Bulbos de ajo blanco (Dávalos, 2016)

### 1.1.7 Composición nutrimental del bulbo

El bulbo de ajo contiene numerosos componentes activos, entre los que destacan sus compuestos azufrados. Si el bulbo está intacto y fresco, el componente mayoritario identificado es la aliína o sulfóxido de S-alil-cisteína (aminoácido azufrado). Además, en el bulbo de ajo se encuentran sales minerales (selenio), azúcares simples y complejos, lípidos, aminoácidos esenciales, terpenos, vitaminas, enzimas, flavonoides y otros compuestos fenólicos. También se considera que contiene aceite esencial debido a la formación de los compuestos azufrados volátiles (López, 2007).

La composición química del ajo fresco está determinada por una gran cantidad de agua (alrededor del 60 – 70 %), por lo que la cantidad de materia seca variará entre el 30 y 40 % del ajo fresco; el contenido de carbohidratos varía de 23 a 33 %, y de proteína entre 5.3 a 6.6 %, Cuadro 2 (INIFAP, 2009).

Cuadro 2. Principales componentes en 100 g de porción comestible del ajo fresco.

<b>Componente</b>	<b>Maynard and hochmuth (2007)</b>	<b>Nutrition data (2009)</b>	<b>Rubatzky and Yamaguchi (1999)</b>	<b>Rico (2007)</b>	<b>CONAJO (2009)</b>
<b>Agua (%)</b>	59	58.6	64	-	61
<b>Energía (Kcal)</b>	149	151.9	6.2	5.3	98-139
<b>Grasa (g)</b>	0.5	0.51	0.35	0.3	0.5
<b>Proteína</b>	6.4	6.61	6.2	5.3	4-6.4
<b>Carbohidratos (g)</b>	33.1	33	27.9	23	-
<b>Fibra (g)</b>	2.1	2.2	1	1.1	-

Fuente: (INIFAP, 2009)

El ajo es una fuente importante de vitaminas y minerales para la nutrición y salud humana; los principales componentes se muestran en los cuadros 3 y 4 (INIFAP, 2009)

Cuadro 3. Contenido de vitaminas de 100 gramos de ajo fresco

<b>Componente</b>	<b>Nutrition data (mg)</b>	<b>Maynard and Hochmuth (mg)</b>	<b>CONAJO (mg)</b>	<b>Senser and Scherz (1999)</b>
<b>Vitamina B1</b>			0.2	200 mcg
<b>Vitamina B2</b>			0.11	80 mcg
<b>Vitamina B6</b>	1.25	1.20		
<b>Vitamina C</b>	30.88	31.20	9-18	14
<b>Vitamina E</b>	0.07			11
<b>Vitamina K</b>	1.69			
<b>Tiamina</b>	0.22	0.20		
<b>Riboflavina</b>	0.07	0.11		
<b>Niacina</b>	0.73	0.7	0.7	
<b>Folato</b>	3.01			
<b>Ácido pantoténico</b>	0.58			
<b>Colina</b>	23.23			

Fuente: (INIFAP, 2009)

#### 1.1.7.1 Carbohidratos presentes en especies del género *Allium*

Dentro de las especies del género *Allium* se encuentran el ajo y la cebolla; estos se caracterizan por su sabor pungente y a su vez el sabor dulzón debido al tipo de carbohidratos. En el caso de la cebolla el carbohidrato predominante es la sacarosa mientras que en el caso de bulbo de ajo los carbohidratos los conforman una mezcla de monosacáridos solubles en agua (glucosa y fructosa), sacarosa, los trisacáridos 1-kestosa (1-fructosilsacarosa) y neokestosa (6G-fructosilsacarosa) y los fructanos de distintos grados de polimerización que varía desde 10 hasta 53 unidades de fructosa (Bauganert, 2000).

Cuadro 4. Contenido de minerales en 100 gramos de ajo fresco

<b>Mineral</b>	<b>Nutrición data</b>	<b>Senser and Scherz</b>	<b>CONAJO (2009)</b>
<b>Calcio</b>	180.88 mg	40 mg	10-24 mg
<b>Hierro</b>	1.69 mg	1400 mg	1.7-2.3 mg
<b>Magnesio</b>	25 mg	35 mg	
<b>Fosforo</b>	152.94 mg	135 mg	40-195 mg
<b>Potasio</b>	400.73 mg	530 mg	540 mg
<b>Sodio</b>	16.98 mg	19 mg	
<b>Zinc</b>	1.17 mg	1 mg	
<b>Cobre</b>	0.29 mg	260 mcg	
<b>Manganeso</b>	1.69 mg	460 mcg	
<b>Selenio</b>	14.19 mcg	20 mcg	

Fuente: (INIFAP, 2009)

#### 1.1.7.1.1 Carbohidratos simples en bulbos de ajo

Los carbohidratos simples son metabolizados rápidamente por el cuerpo para ser usados como energía y se encuentran en forma natural en alimentos como las frutas, la leche y sus derivados, al igual que en azúcares procesados y refinados como los dulces, el azúcar común, los almíbares y las gaseosas.

La D-glucosa es el monosacárido más abundante en la naturaleza (Figura 6) se encuentra en diferentes frutas, como las manzanas y las fresas, y en hortalizas como la cebolla. Su concentración depende básicamente del grado de madurez del producto en cuestión. Debido a que la glucosa es dextro rotatoria (es decir, gira a la derecha sobre el plano de la luz polarizada) también se le conoce con el nombre de dextrosa (Badui, 2020).

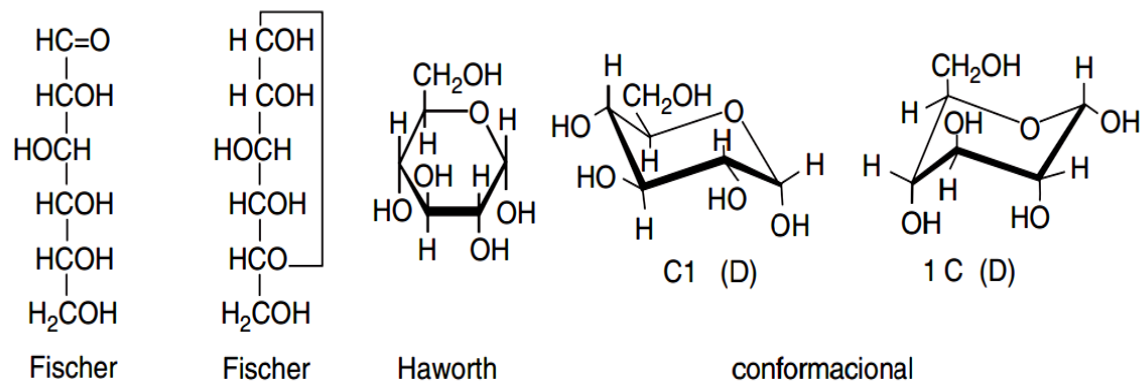


Figura 6. Diferentes representaciones de la d-glucosa (dextrosa) (Badui, 2020).

Al igual que la mayoría de los monosacáridos, la fructosa es un azúcar reductor y dado que es altamente levo rotatorio, se le designa con el nombre de levulosa. Forma parte de algunos polisacáridos, principalmente de la inulina (polisacárido lineal que contiene una glucosa terminal, y cuya unión molecular se da mediante enlaces  $\beta$  (2-1) glucosídico no digeribles), que se encuentra en plantas como el maguey, el ajo y la alcachofa, entre otras (Badui, 2020). El contenido de los distintos azúcares en las frutas varía según el grado de maduración de éstas. Por ejemplo, en la fase inicial del desarrollo del durazno y del chabacano, los monosacáridos son más abundantes que la sacarosa; sin embargo, cuando los frutos alcanzan su estado comestible, los primeros se reducen a costa de las síntesis del disacárido (Badui, 2020).

La sacarosa ( $\beta$ -D-fructofuranosil- $\alpha$ -D-glucopiranosil) llamada comúnmente “azúcar”, está integrada por una glucosa cuyo carbono aldehídico se une al cetónico de la fructosa, estableciendo un enlace glucosídico  $\beta$  (1,2) que impide que este disacárido sea reductor por carecer de grupos aldehído o cetona libres; además, no exhibe muta rotación. La fructosa que contiene está como furanosa tensionada, lo que hace que el enlace glucosídico sea muy lábil al calor y a los ácidos, y pueda hidrolizarse con facilidad para producir una mezcla altamente reductora de los correspondientes monosacáridos (Badui, 2020). La sacarosa abunda en forma natural en casi todas las frutas, en algunas raíces

(como la remolacha, a partir de la cual se obtiene comercialmente, junto con la caña de azúcar), en ciertos granos, y en leguminosas como los chícharos. Su concentración en los diversos alimentos varía de manera considerable según el grado de madurez de estos productos (Badui D. S., 2006).

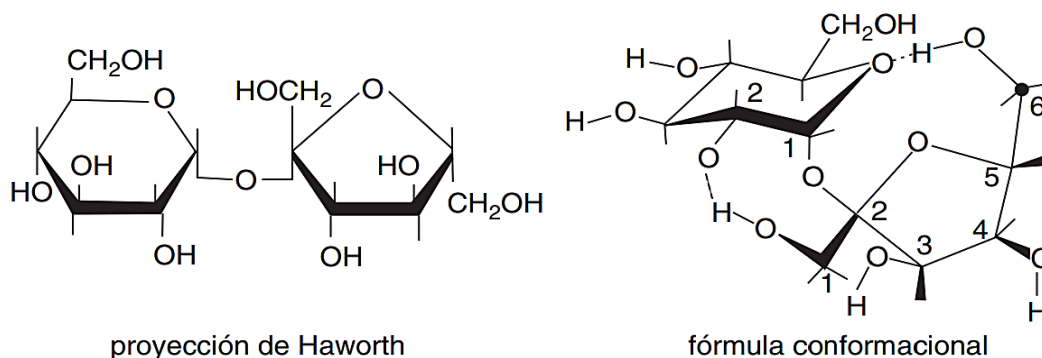


Figura 7. Estructura de la Sacarosa (Badui, 2020)

#### 1.1.7.1.2 Carbohidratos complejos

Dentro de los carbohidratos complejos o polisacárido se encuentran los carbohidratos estructurales que proporcionan rigidez y fortaleza a la plantas, entre ellos la celulosa es un componente estructural primario de las paredes de las células vegetales, representa más del 50 % del carbono en la biosfera, como sucede en general con los polisacáridos grandes, no tiene un tamaño definido dado que al contrario de las proteínas y los ácido nucleídos, no hay modelos determinados por vía genética que dirija su síntesis (Voet, 2006). Por su parte la quitina también es un polisacárido estructural presente en el caparazón de crustáceos.

Por otro lado, se encuentran los polisacáridos de reserva energética; el más abundante es el almidón que se encuentra en los cereales, tubérculos y en algunas frutas. Su concentración varía según el estado de madurez de la fuente; por ejemplo en el plátano en estado verde o inmaduro, el almidón constituye la mayor fracción de los hidratos de

carbono, ya que los azúcares son muy escasos; a medida que la fruta madura, el polisacárido se hidroliza por la acción de las amilasas, y mediante otros sistemas enzimáticos se sintetizan la sacarosa y la fructosa que se encuentran cuando llega a la plena maduración (Badui, 2020). El almidón es un gránulo parcialmente cristalino e insoluble en agua a temperatura ambiente. Estructuralmente, consiste de dos polisacáridos químicamente distinguibles: la amilosa y la amilopectina, responsables de las propiedades funcionales y fisicoquímicas del almidón, ambas están formados por unidades de glucosa, en el caso de la amilosa unidas entre ellas por enlaces  $\alpha$  1-4 lo que da lugar a una cadena lineal (Figura 8). Por el contrario, en la amilopectina, aparecen ramificaciones debidas a enlaces  $\alpha$  1-6 entre las unidades glucosídicas, tal como se muestra en la Figura 8 (Jane, Kasemsuwan, Leas, Zobel, 1994).

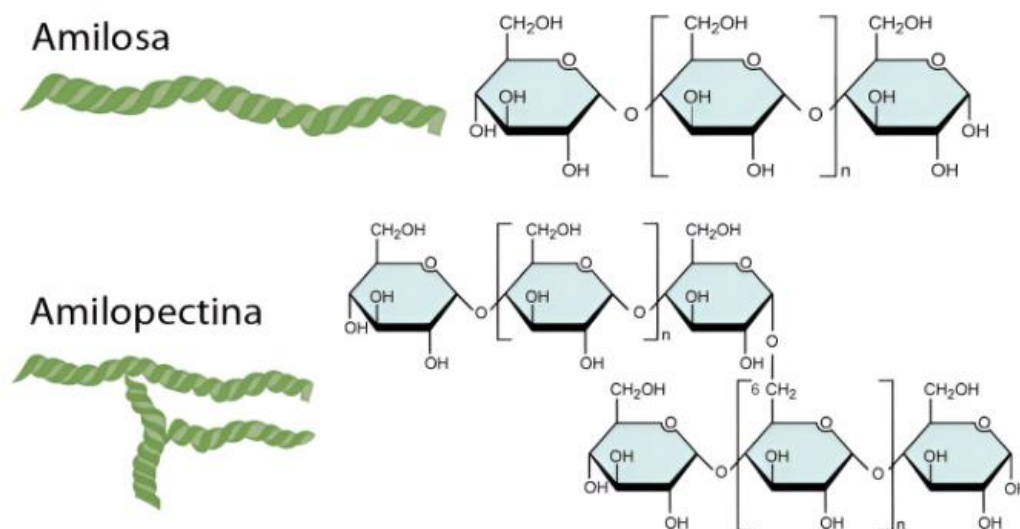


Figura 8. Estructura química del almidón: amilosa y amilopectina (Estelrich, 2019)

El almidón sirve de reserva energética en el reino vegetal, y se encuentra en pequeños corpúsculos discretos que reciben el nombre de gránulos; en el tejido vegetal, éstos ejercen una presión osmótica muy baja, con lo que la planta almacena grandes cantidades de glucosa de una manera muy accesible sin romper el balance de agua interior. El tamaño y la forma del gránulo son característicos de cada especie botánica;



esto se ha aprovechado en el desarrollo de diferentes métodos microscópicos para identificar el origen de los distintos almidones.

La molécula de yodo,  $I_2$ , está formada por dos átomos de yodo unidos con enlace covalente y debido a su carácter apolar el yodo es prácticamente insoluble en agua, como lo demostró Gay Lussac desde 1814 (Martín-Sánchez y col., 2013). La prueba del yodo, es decir, la reacción entre el yodo y el almidón, es la que nos permite detectar la presencia de almidón en algunos alimentos. El color que dan los polisacáridos con el Lugol (solución de  $I_2$  y de IK) se debe a que el  $I_2$  ocupa espacios vacíos en las hélices de la cadena de unidades de glucosa, formando un compuesto de inclusión que altera las propiedades físicas. Esta unión del  $I_2$  a la cadena de amilosa es reversible, y por calentamiento desaparece el color, que al enfriarse reaparece. El Lugol en presencia de almidón presenta una coloración azul morado y en presencia de glucógeno una coloración color rojo caoba (Jiménez, 2015).

Otro polisacárido de reserva son los fructanos los cuales presentan una serie de características químicas de acuerdo a los enlaces que presentan en su estructura  $\beta$ -(2-1), estos enlaces son los responsables de que no puedan ser digeridos como cualquier otro tipo de carbohidrato, lo que a su vez trae como consecuencia que tengan un bajo valor calórico pero un valor funcional ya que actúan como fibra dietética.

El polisacárido predominante en los bulbos de ajo son los fructanos, los cuales son polímeros que constan de unidades de fructosa y un residuo terminal de glucosa. Se produce en una amplia gama de organismos; bacterias, algunos hongos y en aproximadamente el 15% de las plantas con flores. Basándose en el tipo de enlace, los fructanos se puede dividir en tres grupos: Levana, con  $\beta$ (2-6) vinculada a unidades fructosilo; este tipo de fructano ocurre principalmente en bacterias (Dedonder y col., 1966) y las plantas monocotiledóneas (Bonnett y col., 1997), la inulina, con  $\beta$  (2-1) polímero lineal que se encuentra en las plantas dicotiledóneas (Koops y Jonker, 1996), y fructano neoseries, un tipo mixto de fructano que se encuentra en las liliáceas (Pollock, 1986) en la que  $\beta$  (2-1) el alargamiento de la cadena se produce en el C1 y las posiciones C6 del residuo de glucosa (Van Arkel, 2013).

El fructano de ajo es un fructano tipo inulina que pertenece a la familia neokestosa, y tiene una cadena principal con un enlace fructosil-fructosa  $\beta$ -D-Fru f enlazada (2  $\rightarrow$  1) con cadenas laterales  $\beta$ -D Fru f unidas (2  $\rightarrow$  6). Por el enlace  $\beta$  (2  $\rightarrow$  1) de monómeros de fructosa, los fructanos no pueden ser digeridos por las enzimas intestinales y, por lo tanto, se clasifican como Carbohidratos "no digeribles" (Ning, 2013).

En el colon humano, los fructanos se fermentan rápidamente produciendo ácidos grasos de cadena corta (AGCC) los cual explica algunos de los efectos sistémicos de fructanos. Las bifidobacterias (y posiblemente algunos otros géneros) son preferentemente estimulados para crecer en presencia de fructanos en el colon, lo que resulta en cambios significativos en la composición de la microflora intestinal aumentando el número de bacterias promotoras de la salud y reducción del número de especies potencialmente dañinas (Ning, 2013). La longitud de la cadena de fructanos (grado de polimerización) en plantas va desde 10 hasta cientos de unidades de fructosa. Los fructanos o polifruetosilsacarosa, son polímeros de fructosa contruidos sobre la base de una unidad de sacarosa. Las estructuras de los fructanos más simples son kestosa y neokestosa (Figura 9):

Los fructanos de ajo son oligo- o polisacáridos que contienen al menos dos moléculas de fructosa, unidos por enlaces  $\beta$  (2  $\rightarrow$  1) a una molécula de glucosa; presenta ramificaciones  $\beta$  (2  $\rightarrow$  6) de manera que pertenecen al tipo de las neo-inulinas, (Figura 10) (Baumgartner y col., 2000); Los enlaces glucosídicos pueden ser del tipo alfa y beta, los enlaces alfa se forman cuando ambos carbonos tiene la misma estereoquímica, mientras el enlace beta se da cuando los carbonos tienen estereoquímica distinta, es por esta conformación que las enzimas digestivas de nuestro organismo no pueden reconocerlos para degradarlos.

#### 1.1.8 Factores de calidad de bulbos de ajo

Los bulbos de ajo de buena calidad están limpios, son blancos (o de otro color típico de la variedad) y bien curados; es decir con cuello y pieles externas secos, con dientes

firmes al tacto. Los bulbillos maduros deben tener un peso seco y un contenido de sólidos solubles altos (>35% en ambos casos).

Los grados de calidad primariamente están basados en la apariencia externa y la ausencia de defectos. El diámetro mínimo para ponerlos en el mercado como producto fresco es 4 cm (1.5 pulgadas) (UC-Davis, 2015).

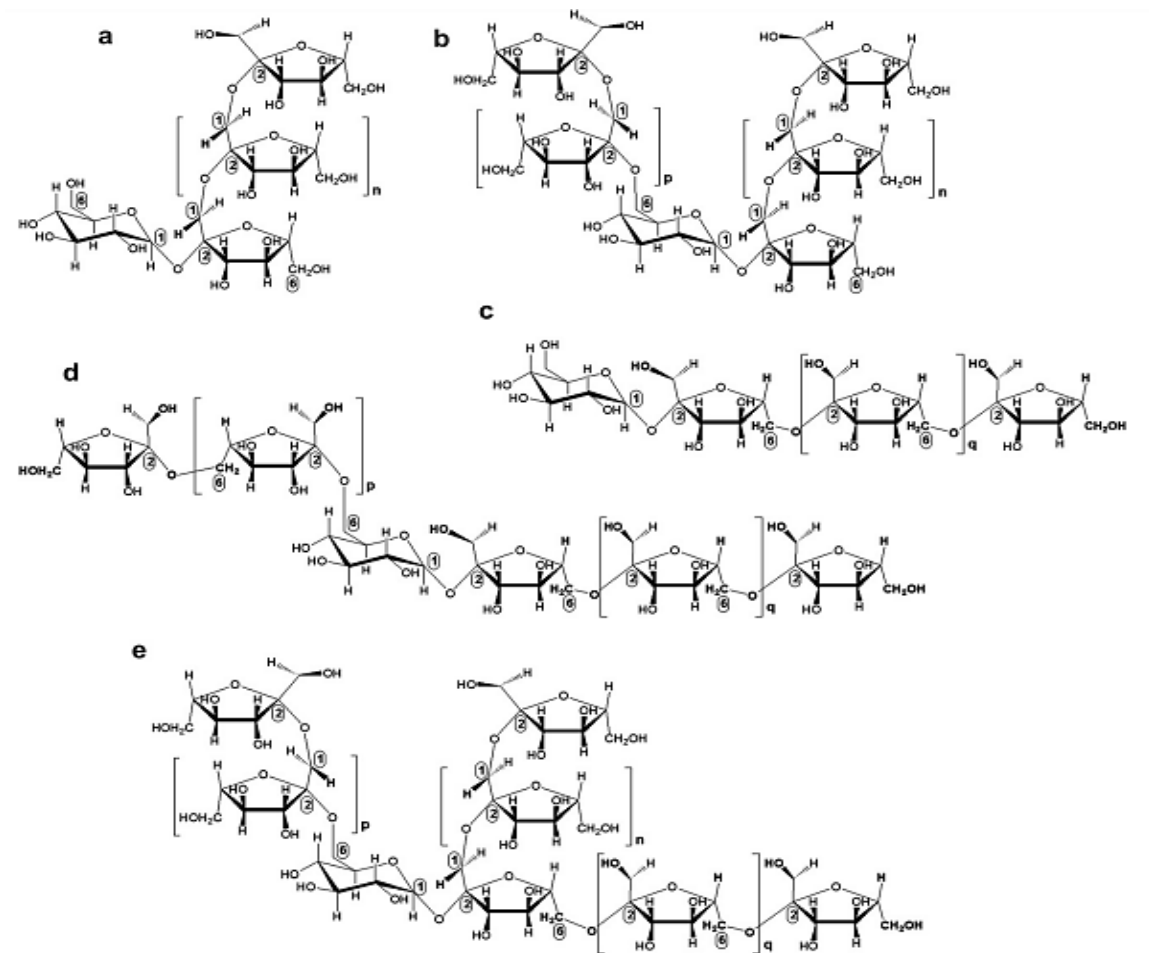


Figura 9. Diferentes tipos de fructanos a( inulina, b(levana, c(graminados, d(neo-inulina, e(neo-levana (Waleckx et al., 2008).

## 1.1.9 Desordenes fisiológicos en bulbos de ajo

### 1.1.9.1 Rompimiento ceroso

Los bulbos maduros de ajo, al ser cortados transversalmente, deben tener una apariencia circular con los bulbillos bien formados y diferenciados, los cuales deben estar cubiertos por varias capas externas, a estos ajos se les considera uniformes y bien diferenciados (Figura 11).

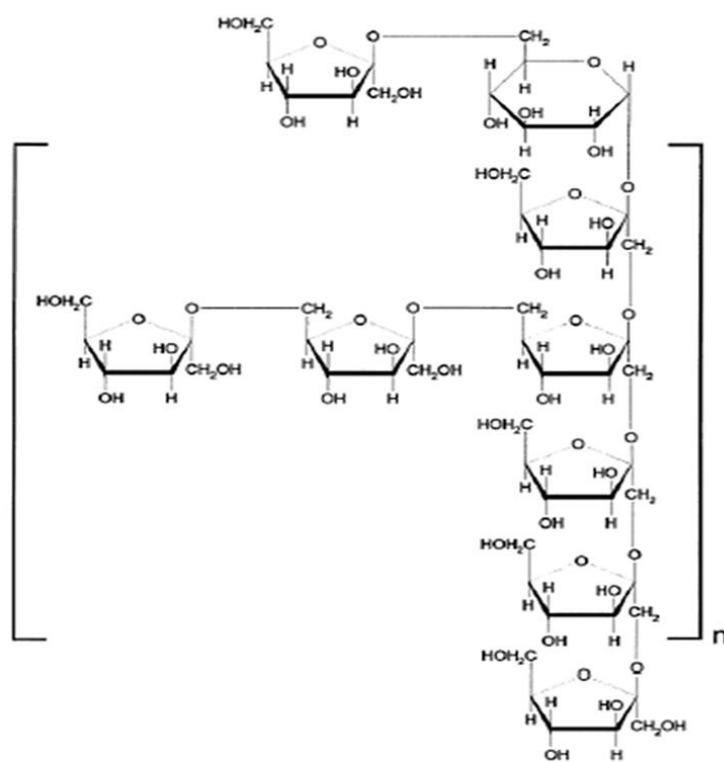


Figura 10. Estructura sugerida para el fructano de ajo. (Baumgartner y col., 2000).



Figura 11. Bulbo de ajo diferenciado (UC- Davis, 2015).

Durante el desarrollo de los bulbos de ajo se pueden presentar diversos desórdenes, algunos de ellos se describen a continuación:

La parálisis cerosa ('waxy breakdown') (Figura 12) es una fisiopatía que afecta al ajo durante las últimas etapas del desarrollo y se asocia a menudo a períodos de altas temperaturas antes de la cosecha. Los síntomas al principio son leves, se observan el desarrollo de una coloración amarillo claro en la pulpa de algunos bulbillos que con el tiempo se oscurecen a un color más amarillo incluso ámbar. Al final, el bulbillo se observa translúcido, pegajoso y ceroso, pero las capas secas o túnicas no se ven afectadas. Algunos bulbillos disminuyen su volumen y aparecen, luego de pelados, con apariencia cristalina cerosa de colores claros que se van oscureciendo con el tiempo hasta transformarse en una pulpa dura, color caramelo. Los síntomas de la parálisis cerosa se encuentran comúnmente en ajo almacenado y el ajo movilizado para la venta, pero raramente en el campo. Niveles de aire con poco oxígeno y una ventilación inadecuada durante el manejo y el almacenaje del producto, pueden contribuir también al desarrollo de esta fisiopatía (Cirrincione, 2015).

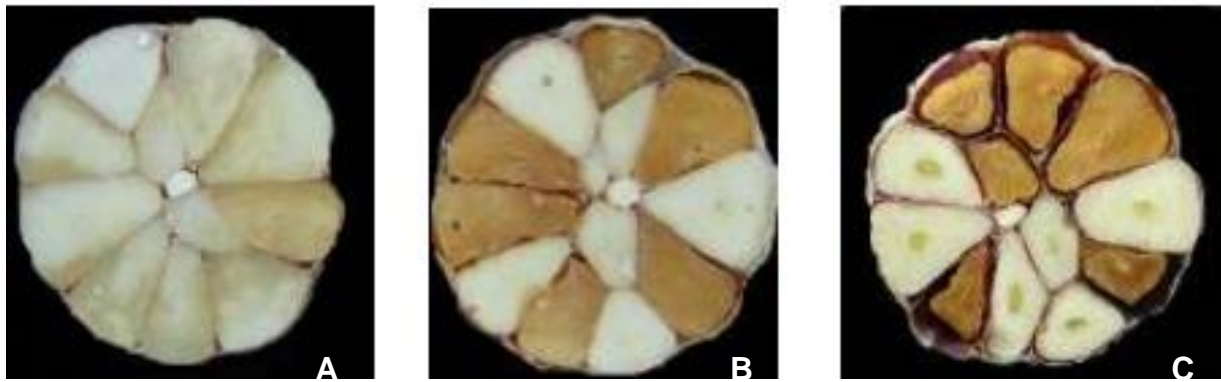


Figura 12. Parálisis cerosa ('waxy breakdown') en dientes de ajo A) 20-25 días desde cosecha, B) a los 45 y C) 60 días respectivamente (Cirrincione, 2015)

#### 1.1.9.2 Acebollado

Idealmente, los bulbos de ajo maduro al ser cortados en una sección transversal, deben tener una apariencia circular y aparecer cubiertos por varias capas externas y de ser así, a estos ajos se les considera uniformes (Figura 13A). No obstante, existen algunas anomalías comunes en la producción de ajo. Uno de los mayores defectos es el "acebollado" en el que el bulbo terminal constituye la única hoja de almacenamiento, estos bulbos de un solo bulbo tiene forma redonda con apariencia de cebolla, de ahí el nombre (Figura 13B).

Una causa de este desorden puede deberse a la falta de horas frío que debe acumular el bulbo de ajo para poder ser plantado y generara bulbos con calidad comercial. Rahimin y Fordham (2001), almacenaron bulbos de ajo a temperaturas de almacenamiento de 5, 10, 15 y 20 °C, durante 15 y 30 días antes de la plantación y encontraron que los bulbos almacenados a 5 y 10 °C mostraron una iniciación acelerada y un desarrollo y madurez de los bulbos mejor que los dientes almacenados a 15 y 20 °C.

En el Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de Frutas y Hortalizas de la UAQ se han llevado a cabo una serie de investigaciones en el cultivo de ajo; en particular López-Hernández (2010) evaluó; entre otras cosas, el efecto de la temperatura durante el almacenamiento de la semilla durante el desarrollo de la planta de ajo y encontró que

la temperatura en la que almacenaron los dientes “semilla” presentó un importante efecto en el desarrollo del bulbo en el campo.

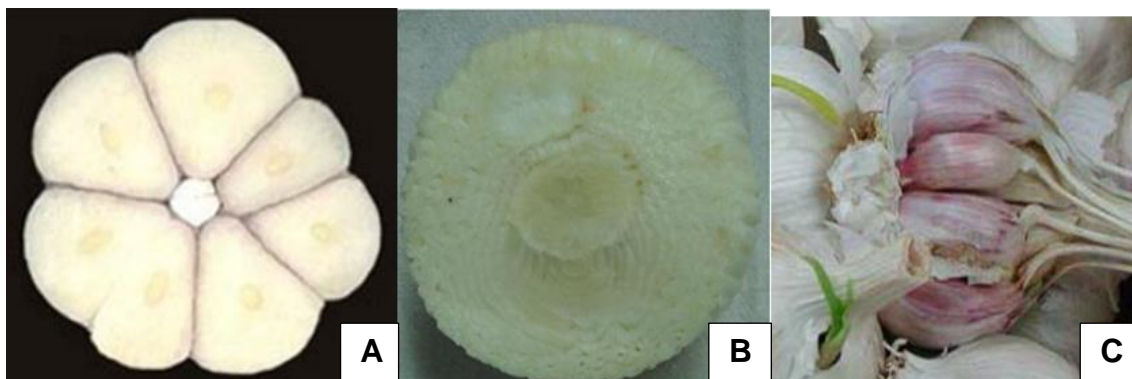


Figura 13. Defectos presentes en el ajo .bulbo de ajo diferenciado (A), bulbo de ajo “acebollado” (B), bulbo de ajo con rebrote (C). Carrillo-Navarrete, 2015.

En particular, al evaluar las plantas que se generaron de dientes almacenados a temperatura ambiente (25 °C), observó que éstas completaron su ciclo a los 222 días, mientras que aquellas que se derivaron de dientes almacenados a 5 °C lo completaron a 157d (65 días antes) Figura 14.

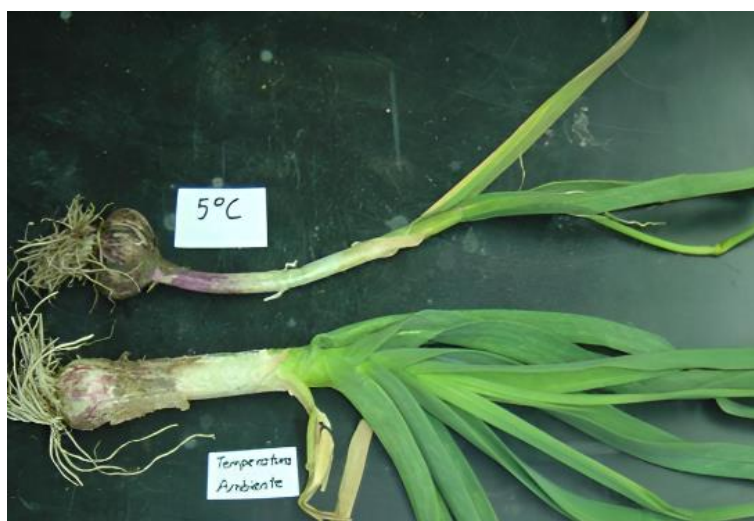


Figura 14. Comparación visual de plantas de ajo derivadas de pre tratamientos a diferentes temperaturas (López-Hernández, 2010)

Sin embargo, aunque se acorto el ciclo de cultivo, el rendimiento fue superior en los tratamientos procedentes de bulbos generados a partir de bulbos “semilla” almacenados a temperatura ambiente.

Aunque en ambas situaciones se desarrollaron bulbos con defectos; en particular, en la cantidad de bulbos “acebollados” estos fueron notablemente mayores en los bulbos procedentes de las plantas de temperatura ambiente (16 % de la producción total) y notablemente menor en los bulbos procedentes de plantas a 5 °C (menos del 1% de la producción total). Estos tipos de ajo no tienen valor comercial.

### 1.1.9.3 Rebrotado

La mayoría de las variedades de ajo presentan el fenómeno de rebrotado que tiene lugar una vez que en el cultivo se ha completado su inducción para bulbificar y su consecuencia es la cosecha de bulbos abiertos (con gran espacio entre dientes), poco firmes e irregulares. El síntoma más evidente del rebrotado es la aparición de uno o más brotes entre la vaina de una hoja y el pseudotallo, razón por la cual se asocia el rebrotado con un exceso de vigor ya que son los bulbillos los que se encuentran rebrotados prematuramente aunque ya se ha establecido plenamente que se trata de un crecimiento vegetativo de yemas laterales antes de que se formen las hojas de reserva (Figura 12C). Es bien conocido que las condiciones térmicas antes y luego de la plantación, el largo del día, la alta disponibilidad de agua y nitrógeno, y las plantaciones ralas, son factores involucrados en la expresión del “rebrote” (Reveles-Hernández. 2009).

Tanto los bulbos rebrotados como los acebollados no tienen valor comercial y llegan a representar cerca del 20 % de la producción total; lo cual significa una pérdida económica para el productor. Lo anterior hace necesario buscar alguna alternativa de uso para estos desperdicios, dado que aunque no se trata de bulbos diferenciados si podemos suponer que los carbohidratos (fructanos) que contienen pueden evaluarse para su posible utilidad.



Por lo anterior resulta relevante explorar el tipo de carbohidratos presentes en los bulbos acebollados, compararlos con los carbohidratos de ajo bien diferenciado, cebolla e inulina comercial para evaluar su posible potencial.

## II. OBJETIVOS

### 2.1 General

Extraer y cuantificar los carbohidratos de bulbos de ajo acebollado y compararlos con los carbohidratos presentes en ajo bien diferenciado, cebolla blanca e inulina comercial.

### 2.2 Específicos

1. Extraer fructanos (polisacáridos de reserva) de muestras ajo acebollado, ajo normal, cebolla blanca.
2. Cuantificar el contenido de fructanos, de azúcares reductores y de sacarosa en los extractos de ajo acebollado, bulbos bien diferenciados, cebolla blanca
3. Comparar los perfiles de carbohidratos presentes en ajo acebollado, ajo normal, cebolla e inulina comercial.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1 Materiales

##### 3.1.1 Material biológico

Se utilizaron bulbos de ajo de la variedad 'Coreano' de la cosecha 2013 – 2014 en la zona productora de ajo localizada en Rincón de Romos, Aguascalientes, México; se cosecharon plantas de ajo de bulbos bien diferenciados y bulbos no diferenciados o "acebollados". Las plantas una vez en el laboratorio fueron seccionadas para su análisis.

Los bulbos de cebolla blanca se adquirieron en un mercado comercial. La inulina de agave de la marca Preventy se usó con fines de comparación.

##### 3.1.2 Reactivos

Todos los reactivos (alcohol etílico, DNS, solución de Lugol) usados en este trabajo fueron obtenidos de casa comerciales y fueron de grado reactivo.

- Preparación del reactivo DNS

Se preparó la solución del reactivo 3,5-dinitrosalicílico (DNS) disolviendo 150 g de tartrato de sodio y potasio en 100 mL de una solución recién preparada de hidróxido de sodio 2.0 N; luego se adicionó una solución de 5.0 g de ácido 3,5-dinitrosalicílico disueltos en 150 mL de agua destilada; una vez hecha la mezcla se llevó a un volumen final de 500 mL con agua destilada (Miller, 1959).

- Preparación de la solución de Lugol

La molécula de yodo,  $I_2$ , está formada dos átomos de yodo unidos con enlace covalente y, como consecuencia de su carácter apolar, el yodo es prácticamente insoluble en agua; sin embargo al adicionar yoduro potásico reacciona con el yodo formando el compuesto  $KI_3$  que es soluble en agua debido al carácter iónico (formado por el catión potasio y el anión triyoduro), dando una disolución de coloración rojiza que es lo que se conoce como reactivo de Lugol o "disolución yodurada de yodo" La preparación de la disolución de Lugol suele consistir en 5 g de  $I_2$  y 10 g de KI diluidos con 85 mL de agua destilada,

dando una disolución marrón con concentración total de yodo de 150 mg/mL. El yoduro del yoduro potásico hace soluble en agua al yodo diatómico molecular, por la formación de iones triyoduro,  $I_3^-$ .

## 3.2 Métodos

### 3.2.1 Extracción de Carbohidratos

Para la extracción de los carbohidratos se usó el método descrito por López y col 2003, modificado por Vázquez-Barrios (2005) para cada material biológico. La Figura 15 muestra el esquema general del procedimiento de extracción de los carbohidratos de los bulbos de ajo.

Las muestras frescas se seleccionaron eliminando las muestras de ajo acebollado que presentaron pudriciones. Las muestras seleccionadas se trocearon para poder congelar con nitrógeno líquido y conservarlas a  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  en un ultracongelador hasta su liofilización. Una vez liofilizadas se conservaron a temperatura ambiente en bolsas sellables hasta su análisis.

En un matraz de Erlenmeyer 250 mL, se colocó 10 g de muestra liofilizada y se mezcló con 80 mL de etanol al 80 % este procedimiento se repitió en dos ocasiones, manteniendo en agitación constante, por 1 h a  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , posteriormente la muestra se filtró usando papel Whatman No. 1 reservando el filtrado; mientras que el residuo se llevó nuevamente a  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en esta ocasión solo con agua destilada por 30 min repitiendo el procedimiento por un total de 3 extracciones con agua destilada. Los filtrados se juntaron y se llevaron a concentrar hasta aproximadamente 20 mL en un rotavapor, a este extracto se ajustó el pH a 7.0 con HCl 0.01 N o NaOH 0.01 N. Al extracto acuoso resultante se le adicionó 30 mL de etanol absoluto frío a  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  para lograr precipitar los carbohidratos extraídos. Una vez terminado el tiempo, se centrifugo a 1400 rpm por 20 min a  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , cuidadosamente se decantó y el residuo fue liofilizado nuevamente.

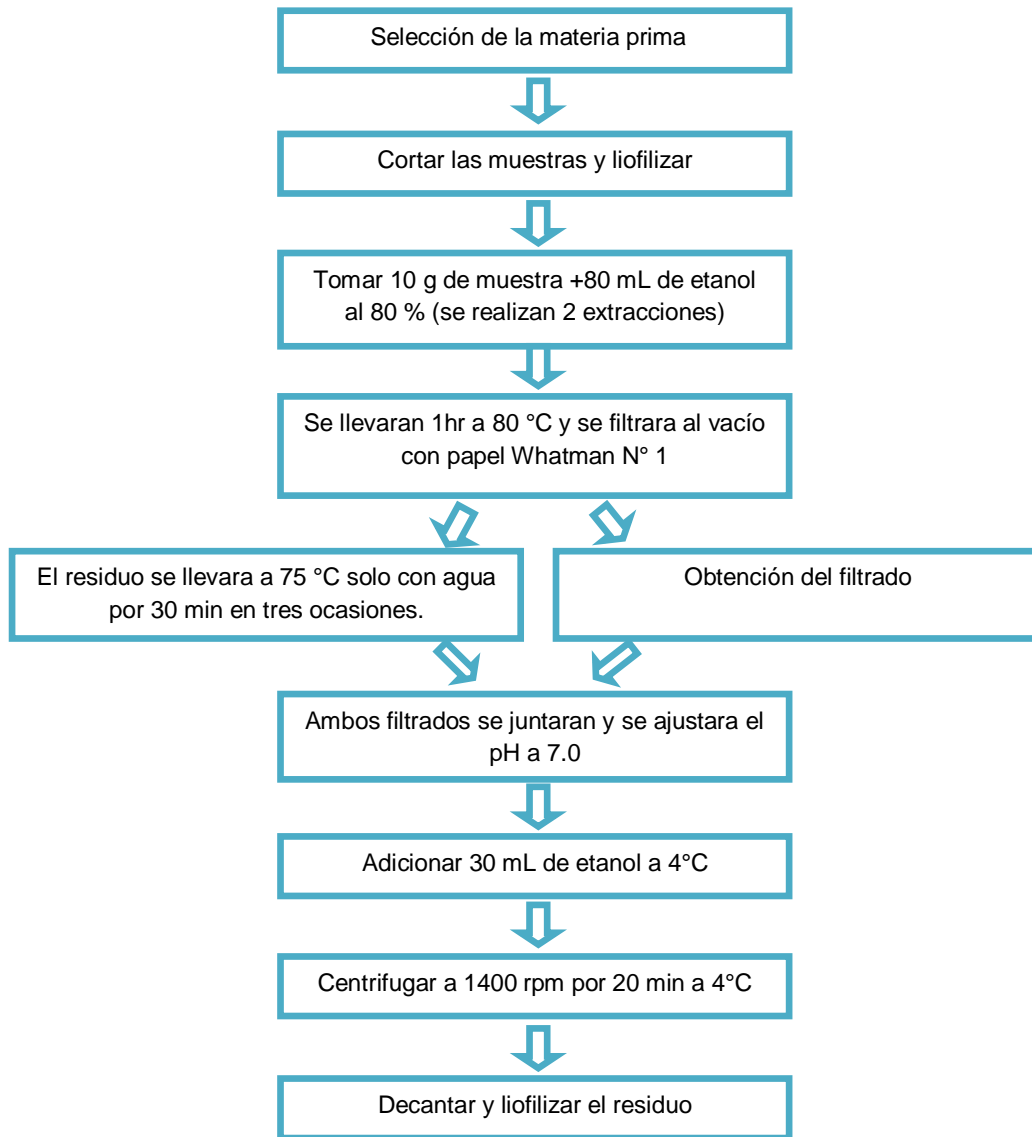


Figura 15. Esquema general del proceso de extracción de carbohidratos

### 3.2.2 Identificación de almidón

La identificación de la presencia de almidón se realizó con la prueba del reactivo de Lugol ya que el almidón, particularmente la amilosa adsorbe el yodo produciendo una coloración azul intensa, coloración que desaparece al calentar, porque se rompe la estructura que se ha producido, pero vuelve a aparecer al enfriar.

La determinación de almidón se llevó a cabo de acuerdo con la NMX-F-374-1983. Alimentos, Almidón, determinación cualitativa (prueba del Lugol). Método de prueba. Foods–starch. Qualitative determination (Lugol test). Method of test. Normas mexicanas. Dirección general de normas.

Se tomó 1.0 g de muestra en una caja Petri, a la cual se le añadió agua destilada, se calentó sobre una parrilla eléctrica para posteriormente dejarla enfriar, se añadió unas gotas de Lugol (el Lugol se preparó de acuerdo a lo que indica la misma norma). Después de un tiempo de reposo se observaron las muestras para determinar de forma cualitativa la presencia de almidón mediante la coloración azul oscura de la muestra.

### 3.2.3 Cuantificación de azúcares reductores

La cuantificación de azúcares reductores se realizó con el método del DNS el cual se basa en la reducción del ácido 3,5-dinitrosalicílico (el cual se encuentra de color amarillo naranja) por la oxidación de glucosa y/o fructosa (Figura 16), cuya presencia se detecta por la lectura de la absorbancia a 540 nm.

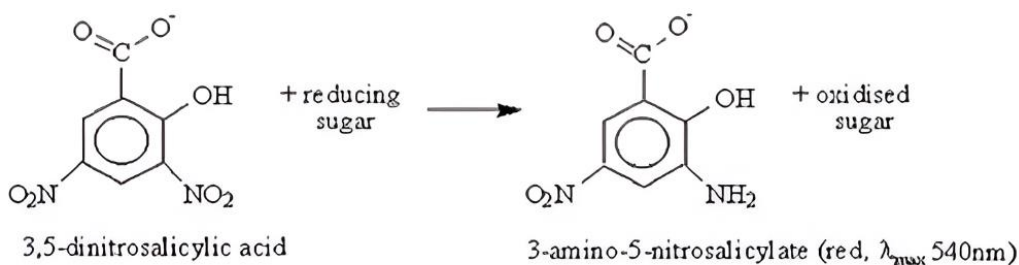


Figura 16. Reacción de oxidación de azúcares reductores, método DNS. Miller, 1959.

El análisis se efectuó en un tubo de ensayo conteniendo 0.5 mL de reactivo DNS y 0.5 mL de la muestra extraída, los tubos se colocaron en un baño de agua a ebullición (94 °C) por 10 min; después se enfriaron por 10 min a 4 °C (agua – hielo); una vez que alcanzaron la temperatura ambiente (5 min) se determinó la absorbancia a 540 nm; para la cuantificación se usó una curva patrón de fructosa

#### 3.2.4 Cuantificación de sacarosa y fructanos

La cuantificación de sacarosa y de fructanis se llevó a cabo usando el kit enzimático “Fructan HK Assay” de la marca Megazyme®. El kit enzimático Fructan Assay de Megazyme® se basa en el método de AOAC 999.03 y el método AACC 32.32, (Megazyme, 2012). El fundamento de este kit consiste en extraer los carbohidratos disolviendo 100 mg en 40 mL de agua destilada agitando durante 15 min a 80 °C. Del extracto obtenido se eliminó la glucosa, la sacarosa, el almidón y los azúcares reductores libres siguiendo las indicaciones del Kit. Los fructanos se hidrolizaron con exo-inulinasa y endo-inulinasa para obtener glucosa y fructosa libre las cuales se cuantificaron como azúcares reductores usando el reactivo de PAHBAH,

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Rendimiento en la extracción de carbohidratos

Siguiendo los procedimientos de extracción de los carbohidratos de los materiales estudiados se observó que en el papel filtro quedaba una considerable cantidad de residuo en todas las muestras; presentando mayor residuo las extracciones en cebolla (Figura 17C), ajo diferenciado (Figura 17B) y ajo no diferenciado (Figura 17A), por lo cual se decidió realizar una segunda extracción siguiendo todas las etapas. Los filtrados de ambas extracciones se colectaron y se concentraron a los cuales se les adicionó 30 mL de etanol absoluto y se almacenaron durante una noche en el congelador (-20 °C) para favorecer la separación de los carbohidratos, la solubilidad de los carbohidratos en agua y disolventes polares está en función de su peso molecular. Los carbohidratos de peso molecular bajo o medio (mono- y oligosacáridos) son solubles en agua, alcoholes y disolventes polares como la piridina, dimetilsulfóxido y dimetilformamida, mientras que presentan una baja solubilidad en etanol y son insolubles en disolventes poco polares como éter, cloroformo o benceno (Belitz y col. 2009) el reposo permitió la precipitación de los carbohidratos. Este procedimiento se realizó por triplicado. Las muestras se centrifugaron (1400 Rpm por 20 min a 4°C) y el pellet resultante se liofilizó. Posteriormente se realizaron los análisis para almidón, azúcares reductores, fructanos y sacarosa.

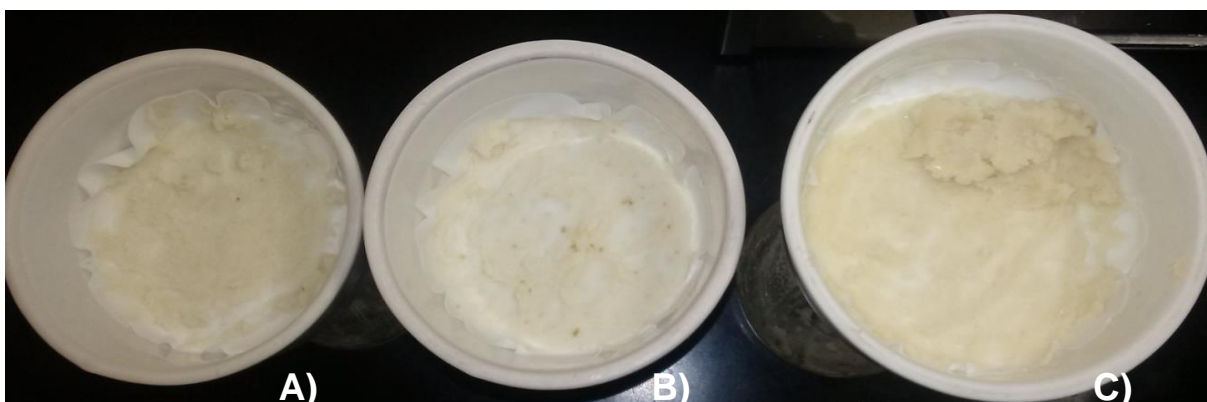


Figura 17. Residuo de las filtraciones durante la extracción de carbohidratos, ajo no diferenciado (A), ajo diferenciado (B), cebolla (C).



Los rendimientos que se obtuvieron de la extracción de carbohidratos de cada una de las muestras analizadas se indican en el Cuadro 5. El menor contenido de carbohidratos lo presentó la cebolla blanca (CB) con 22.03 %, mientras que el mayor contenido lo presentaron los fructanos del ajo diferenciado (AD) con valores de 80.16 % y de 72.23 % en los bulbos de ajo no diferenciado (AND).

Cuadro 5. Contenido de carbohidratos en 100 gramos de muestra fresca

<b>Muestra</b>	<b>Peso inicial (g)</b>	<b>Peso seco después de la extracción (g)</b>	<b>Rendimiento de la extracción (%)</b>
<b>Cebolla blanca (CB)</b>	10.0	2.21±0.22 <sup>b</sup>	22.03±2.25 <sup>b</sup>
<b>Ajo acebollado o no diferenciado (AND)</b>	10.0	7.24±0.17 <sup>a</sup>	72.23±1.65 <sup>a</sup>
<b>Ajo diferenciado (AD)</b>	10.0	8.03±0.18 <sup>a</sup>	80.16±1.61 <sup>a</sup>

Los resultados son derivados de la media de tres extracciones independientes ± la desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) por la prueba de Tukey.

Los contenidos de carbohidratos en ajo AD y AND son estadísticamente iguales de según con la comparación de medias por la prueba de Tukey; los valores son muy similares (80.16 % y 72.23 % respectivamente) y muy diferentes con los valores encontrados para cebolla blanca. A pesar de la fisiopatía de los ajos no diferenciados que se caracteriza por no presentar bulbillos bien formados y tener solo una serie de hojas de forma concéntrica que dan un aspecto de cebolla al bulbo, el contenido de carbohidratos es estadísticamente similar a los ajos diferenciados.

## 4.2 Identificación de almidón

Debido a que el almidón es el carbohidrato de reserva energética de la mayoría de los vegetales se realizó una prueba para evidenciar la presencia o no de almidón, y de estar presente poderlo cuantificarlo. Para cada muestra analizada se determinó la presencia de almidón y con fines de comparación de los resultados se usó una muestra de almidón y de inulina; el almidón de papa da positiva la prueba como se muestra en la Figura 18A, donde se aprecia una coloración morada casi negra; mientras que la inulina da prueba negativa con una coloración rojo guinda (Figura 18B).

Las muestras de cebolla y de ajo dieron la prueba negativa indicando que no contienen almidón. La prueba del yodo, es decir, la reacción entre el yodo y la amilosa es la que nos permite detectar la presencia de almidón en algunos alimentos. El efecto óptico que dan los polisacáridos con el Lugol (solución de  $I_2$  y de  $IK$ ) se debe a que el  $I_2$  ocupa espacios vacíos en las hélices de la cadena de unidades de glucosa (amilasa), formando un compuesto de inclusión que altera las propiedades físicas como la apariencia, este proceso solo se presenta en frío.

El almidón se encuentra en los cereales, los tubérculos y en algunas frutas como polisacárido de reserva energética. Su concentración varía según el estado de madurez de la fuente biológica (Badui, 2020). En el caso de hortalizas de bulbo como el ajo, diferenciado como no diferenciado, y la cebolla, aunque son órganos de reserva energética, éstos contiene en su mayoría fructanos los cuales también son carbohidratos de reserva como el almidón pero de menor peso molecular; otra diferencia entre estos polímeros es que el almidón es un polisacárido de glucosa; mientras que los fructanos son polímeros esencialmente de fructosa, además los fructanos de cebolla y de ajo son polímeros tipo lévanos; es decir lineales que difieren en su grado de polimerización (DP= degree of polmerization); según Darbyshire y Henry (1978), los fructanos de cebolla tienen un DP de 3 a 10, lo cual los hace ligeramente dulces; mientras que el DP en el ajo diferenciado es de alrededor de 58 (Baungarnet, 2000).

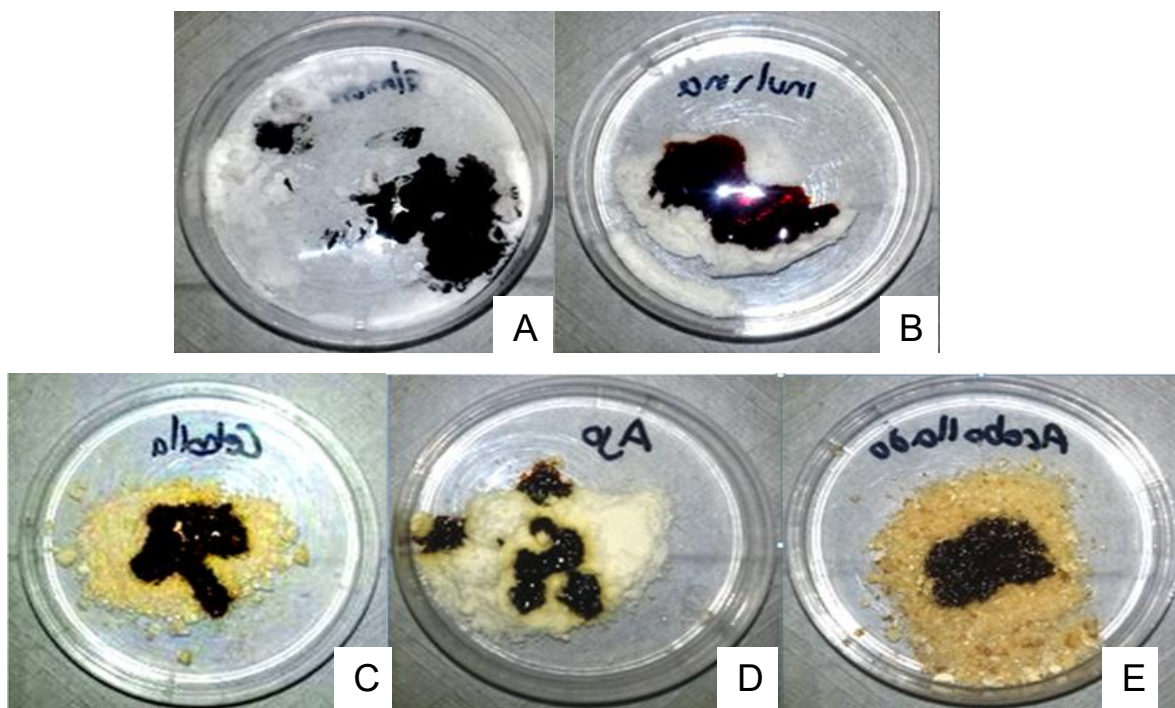


Figura 18. Prueba de Lugol para evidenciar la presencia de almidón en muestras vegetales. A) Almidón de papa (control), B) Inulina comercial C) Cebolla blancas, D) ajo bien diferenciado, y E) ajo no diferenciado.

#### 4.3 Cuantificación de azúcares reductores

Los resultados obtenidos muestran contenidos similares de azúcares reductores (AR) expresados como porcentaje de fructosa en las muestras de AD, AND y IC (1.5 – 2 %), mientras que las muestras de CB mostraron un mayor contenido ( $4.82 \pm 1.14$  %) Cuadro 6.

El porcentaje de azúcares no reductores o sacarosa se obtuvo por la diferencia del total de carbohidratos en base 100 restando el porcentaje de fructanos y el porcentaje de AR. Las muestras de CB presentaron una diferencia significativa con las muestras de ajo en el contenido de sacarosa. La CB presentó el mayor contenido de sacarosa ( $75.79 \pm 0.67$  %); mientras que las muestras de AD la menor ( $1.91 \pm 3.15$  %); por su parte, las muestras de AND presentaron 6 veces más contenido que el AD pero mucho menor que la CB

(12.85±1.03 %) (Cuadro 6). Pourtau y col., 2006 y Guevara y col., 2015 reportaron que la concentración de sacarosa está relacionada con la diferenciación de los bulbos, es decir, que a mayor concentración de sacarosa menor es la diferenciación tal como se encontró en el presente estudio.

#### 4.4 Cuantificación de fructanos

Las muestras de AD y la IC presentaron los valores más altos de fructanos (96.65% y 97.18%) sin diferencia estadística entre ellas, mientras que la cebolla presentó los valores más bajos (22.32 %) siendo estadísticamente diferentes a la IC, AD e incluso al AND. Considerando el aspecto de los AND se esperaba que la composición de los carbohidratos fuera similar a los de la cebolla; sin embargo, los AND presentaron un contenido de fructanos 15 % menos que el AD y la IC; y un 83 % de sacarosa menos que la cebolla pero tiene 9 veces más contenido de sacarosa que el AD y la IC (Cuadro 6).

Se ha reportado que la apariencia a cebolla en bulbos de ajo no diferenciados es consecuencia de la falta de fotoperiodo que necesita una variedad para diferenciar sus bulbillos en la fase de bulbificación (Espinosa y col., 2003); este problema puede representar entre el 30 y 50 % de pérdidas poscosecha en este cultivo, lo cual es una enorme pérdida económica.

Loyo y col, 2020., extrajeron y compararon fructanos en ajo, ajo acebollado y cebolla blanca y reportaron rendimientos de 76.3 % para ajo diferenciado, 71.2 % para ajo acebollado y un 27 % para cebolla blanca. Estos resultados son similares a los obtenidos en el presente trabajo, particularmente con el contenido de fructanos en ajo acebollado.

El hecho de que los AND tengan similar contenido de carbohidratos muestra que estos materiales sin valor comercial pueden aprovecharse para obtener fructanos con buenos rendimientos, los cuales pueden tener aplicaciones comerciales.

Cuadro 6. Contenido de carbohidratos en muestras de ajo, cebolla e inulina

Muestra	Cuantificación de fructanos %	% Azúcares reductores	% Sacarosa
<b>AD</b>	96.65±3.15 <sup>a</sup>	1.44±0.27 <sup>bc</sup>	1.91±3.15 <sup>c</sup>
<b>CB</b>	22.32±0.67 <sup>c</sup>	4.82±1.14 <sup>a</sup>	75.79±0.67 <sup>a</sup>
<b>AND</b>	82.33±1.00 <sup>b</sup>	1.89±0.67 <sup>b</sup>	12.85±1.00 <sup>b</sup>
<b>IC</b>	97.18±1.75 <sup>a</sup>	1.41±0.5 <sup>bc</sup>	1.41±1.78 <sup>c</sup>

Resultados expresados como la media de tres experimentos independientes  $\pm$  la desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas ( $\alpha < 0.05$ ) por la prueba de Tukey.

Como podemos observar en la cuadro 6, el ajo diferenciado junto con la inulina comercial presentan la mayor cantidad de fructanos por arriba del 95 % con porcentajes de azúcares reductores del 1.4 % y valores de sacarosa menores al 2 %, mientras que el ajo no diferenciado a pesar de que físicamente se parece más a una cebolla, en su composición son muy diferentes como muestra está la cantidad de fructanos que se obtuvieron del ajo no diferenciado con un 82.33 % mientras la cebolla obtuvo un valor de 22.32 %. Para el ajo no diferenciado esta cantidad de fructanos representa una oportunidad de entrar al mercado de aditivos a un producto que se considera en la agricultura como merma.

En la actualidad los fructanos más utilizados a nivel industrial son los extraídos del agave de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SAGARPA-2016, relativa a las características de sanidad, calidad agroalimentaria, autenticidad, etiquetado y evaluación de la conformidad de los fructanos de agave, los fructanos de agave deben tener un porcentaje mínimo del 85 %, valores máximos de sacarosa del 5%, fructosa del 9% y

glucosa del 6 %. Con estos valores como referencia el ajo no diferenciado se puede posicionar como un potencial competidor, sin embargo el valor de sacarosa del 12.85% representa un problema si no se disminuye este valor, debido a que los azúcares de bajo peso molecular se consideran indeseables ya que no contribuyen a la funcionalidad del producto, por lo contrario pueden afectar sus propiedades físicas (Alvarado y col., 2014)

## **V. CONCLUSIONES**

Los bulbos de cebolla y de ajo, diferenciado y no diferenciado, no contienen almidón como carbohidrato de reserva energética.

Los rendimientos obtenidos de carbohidratos en muestras de ajo no diferenciado y ajo diferenciado son estadísticamente iguales, lo que sugiere que el ajo no diferenciado puede ser considerado como una fuente importante de carbohidratos, particularmente de fructanos tipo inulina. Y que estos ajos sin valor comercial puedan tener una alternativa y no representar pérdidas económicas para los productores de ajo y a su vez contribuir en la disminución de la contaminación ambiental asociada a los ajos no diferenciados.

Es posible que los ajos acebollados puedan tener un uso como fuente de fructanos con potencial similar a la inulina comercial para poder ser usados como ingrediente o aditivo para la industria alimentaria.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

**Alvarado C.**, Camacho R. M., Cejas R., Rodríguez J.A., Profiling of comercial agave fructooligosaccharides using ultrafiltration and high performance thin layer chromatography, *Revista Mexicana de ingeniería química*, Vol. 13, p. 417-427, 2014.

**Ávila, G.T. 1999.** Parámetros para la estimación del momento oportuno de cosecha en “ajo Blanco”. In: Burba (Editor) VI Curso/ Taller Producción comercialización e industrialización de ajo. INTA. Argentina. P 191-192.

**Bachman, J. 2008.** Garlic: organic production. ATTRA-National Sustainable Agriculture Information. ATTRA publication 320, p 28.

**Badui D. S., 2020.** Capítulo 2. Hidratos de carbono; En *Química de los Alimentos*. Sexta edición. Pearson educación, México.

**Bauer B.** 2010. Extracts from the history and medical properties of garlic. *Pharmacogn Rev*; 4(7): 106–110.

**Baumgartner S., Dax T. G., Praznik W., and Falk H. 2000.** Characterization of the High-molecular Weigt fructan isolated from garlic (*Allium sativum L.*). *Carbohydrate Research*, 328: 177-183.

**Belitz HD, Grosch W, Schieberle P (2009).** Carbohydrates. En: *Food Chemistry*. HD Belitz, W Grosch, P Schieberle. Berlin, Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 248- 339

**Bianco C. A., 2004,** la hoja morfología externa y anatomía, Primera edición, universidad nacional del rio cuarto, Córdoba, Argentina.

**Bonnett, G. D., Sims, I. M., Simpson, R. J., & Cairns, A. J. (1997).** Structural diversity of fructan in relation to the taxonomy of the Poaceae. *New Phytologist*, 136(1), 11–17.

**Boundary Garlic, 2006.** Growing Garlic. In: <http://www.garlicfarm.ca/growing-garlic.htm>

**British Columbia Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (BCMAFF). 2004.** Garlic (organic) – *Allium sativum*. Garlic Factsheet. Kamloops, BC. 12p.

**Cimini, S., Locato, V., Vergauwen, R., Paradiso, A., Cecchini, C., Vandenpoel, L., Verspreet, J., Courtin, C.M., D’Egidio, M.G., Van den Ende, W., De Gara, L., 2015.** Fructan biosynthesis and degradation as part of plant metabolism controlling sugar fluxes during durum wheat kernel maturation. *Front. Plant Sci.* 6 (89), 1–10.



- Cirrincione, M. A., Guiñazu, M. E., 2015,** Parálisis cerosa (waxy breakdown) en bulbos de ajo, INTA.
- Carrillo-Navarrete. F.I. 2015.** Extracción y caracterización de fructanos de ajo no diferenciado *Allium sativum* L. y su potencial efecto prebiótico. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Química. Universidad Autónoma de Querétaro. Qro. México.
- Dávalos T. 2016.** Científicos del INIFAP mejoran genéticamente el ajo. Ciencia MX. México. <http://www.cienciamx.com/index.php/tecnologia/biotecnologia/10817-cientificos-del-inifap-mejoran-geneticamente-el-ajo>
- Dedonder, R., Neufeld, E. F., & Ginsburg, V. (1966).** Levansucrase from *Bacillus subtilis*. In *Methods in enzymology* (pp. 500–505). Academic Press.
- Dey, P. M., and Harbone, J.B.1997.** *Plant Biochem Ed.* Academic Press. Pp. 554
- Estelrich, R. (2019).** Los hidratos de carbono más largos.
- FAO, 2013.** <http://faostat.fao.org/>
- FAO, 2013.** Material de propagación de calidad declarada, Estudio FAO producción y protección vegetal 195. <http://www.fao.org/3/a-i1195s.pdf>
- Flaño I.A., 2014,** El mercado del ajo, oficina de estudios y políticas agrarias, ministerio de agricultura, Chile.
- Guevara, T., López, L., López, M., Dufoo, M., Vázquez, M. Guevara, L. Guevara, R., Rivera, D., Torres, H., Mercado, E. 2015.** Conditionin Garlic “seed” cloves at low Temperature modifies plant growth, sugar, fructan content and sucrose fructosyl transferase /1-SST) expression. *Scientia Horticulturae*. 189: 150-158.
- Goldy, R. 2000.** Producing garlic in Michigan, Extension Bulletin E-2722, Michigan State University Extension p12.
- Jancic R., 2002,** Beograd: Sluzbeni list SRJ. *Botanika farmaceutika*; p. 247
- Jane, Kasemsuwan, Leas, Zobel, y R. (1994).** Anthology of starch granule morphology by scanning electron-microscopy. *Starch*, 46, 121–129
- Jiménez, M. I., 2015.** Estructura y función celular, Universidad Autónoma Metropolitana, pp. 50, México.
- Kamenetsky, R. and Rabinowich, H. D. 2006.** The Genus *Allium*: A Developmental and Horticultural Analysis. *Horticultural Reviews*. 32:329-337.

**Koops, A. J., and Jonker, H. H. (1996).** Purification and characterization of the enzymes of fructan biosynthesis in tubers of *Helianthus tuberosus* Colombia. II. Purification of sucrose: sucrose 1-fructosyltransferase and reconstitution of fructan synthesis in vitro with purified sucrose: sucrose 1-fructosyltransferase and fructan: fructan 1-fructosyltransferase. *Plant Physiology*, 110(4), 1167–1175.

**López-Hernández, L. E. 2010.** Efecto del almacenamiento a baja temperatura y aplicación de paclobutrazol a bulbos de ajo *Allium sativum* L. cv. 'Coreano' en su crecimiento, calidad de cosecha y perfil de fructanos. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Química. Universidad Autónoma de Querétaro. Qro. México.

**López Luengo, M.T, 2007.** El ajo, *Offarm*, Vol.26, N°1, pág., 78-81.

**Martín-Sánchez, M., Martín-Sánchez, M.T y Pinto, G. 2013.** Reactivo de Lugol: Historia de su descubrimiento y sus aplicaciones. *Educ. Quím.*, 24 (1) 31-36. © Universidad Nacional Autónoma de México, ISSN 0187-893-X. Publicado en línea el 25 de noviembre de 2012, ISSNE 1870-840

**Martín Seseña, E. (2017).** Bulbo de ajo Morado. *Revista agricultura*. España. [http://www.revistaagricultura.com/cultivos/hortícolas/el-ajo-morado-marca-la-diferencia-en-sabor\\_8863\\_170\\_10980\\_0\\_1\\_in.html](http://www.revistaagricultura.com/cultivos/hortícolas/el-ajo-morado-marca-la-diferencia-en-sabor_8863_170_10980_0_1_in.html)

**Miller, GL. 1959.** Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. G. L. Miller. *Anal. Chem.* 31 (3), pp 426–428.

**Mujica H. y Pérez M. 2006.** Características físicas y químicas de ajo cosechado en dos estados de madurez y almacenado en condiciones ambientales. *Bioagro* 18(#): 171-175.

**Ning Zhang, y Co., 2013,** Study on prebiotic effectiveness of neutral garlic fructan in vitro Department of Food Science and Engineering, Jinan University, Guangzhou, China

**Oliveira, C.M., 2003.** Deteminação do ponto do colheita na produção de alho. *Horticultura Brasileira*. 21: 506-509.

**Oliveira, C.M., 2004.** Época de colheita e potencial de armazenamento em cultivares de alho. *Horticultura Brasileira* 22:804-807.

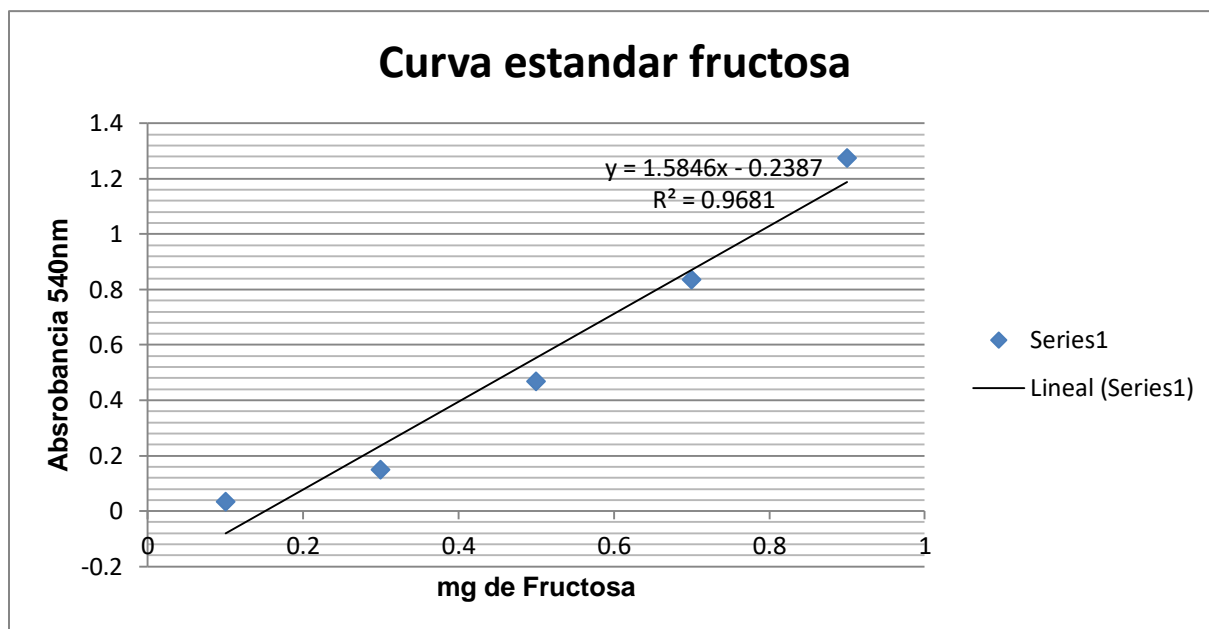
**Olvera C., Castillo E., y López-Munguía A., 2007.** Fructosiltransferasas, fructanas y fructose. *Biotechnología* 14: 327-346.

**Pandey U. B. 2012,** Garlic, *Handbook of Herbs and Spices*, Second edition, Woodhead Publishing, Vol. 1, Pages 299–318.

- Pelter, G.Q., 2005.** Effect of scape removal on garlic bulb yield in central Washington. In Guangshu L. IV International Symposium on Edible *Alliaceae*. Act Hort. (ISHS). 688:323-326.
- Pérez M.L., 2003,** evaluación de cultivares de ajo morado y blanco por su rendimiento agronómico e industrial en Irapuato, Guanajuato, Instituto de Ciencias Agrícolas. Universidad de Guanajuato, Guanajuato, Gto., México, Vol. 13 No. 3.
- Pollock, C. J. (1986).** Tansley review no. 5. Fructans and the metabolism of sucrose in vascular plants. New Phytologist, 104(1), 1–24.
- Portela, A. J. 1996.** El ambiente como regulador del desarrollo de las plantas. Su efecto sobre el ajo (*Allium sativum*). Avances en Horticultura. 1(l):19-40.
- Purseglove, J. 1985.** Tropical crops: Monocotyledons I. In: El ajo en México: origen, mejoramiento genético y tecnología de producción. Ed. Heredia, G.E., SAGAR, INIFAP, Campo experimental Bajío pp. 22, 23.
- Reveles-Hernández M. 2009,** Tecnología para cultivar ajo en zacatecas, INIFAP, calera, Zacatecas, México.
- Reid, M.S., 1992,** Maturation and maturity indices in; Postharvest technology of horticultural crops University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. Pub 3311. P 21-28.
- Ritsema T and Smeekens S. C. 2003.** Engineering fructan metabolism in plants. Plant Physiol. 160: 811-820.
- Rosen, C., 2008.** Growing Garlic in Minnesota. University of Minnesota Extension.
- Shalini R, Jayachandran Krishna, Meenakshisundaram Sankaranarayanan, Usha Antony., 2021.** Enhancement of fructan extraction from garlic and fructooligosaccharide purification using an activated charcoal column. LWT Food Science and Technology, 148, 3-5.
- Stahlschmidt, O. 1989.** Manejo de la Dormancia / Brotación en Bulbos de Ajo. En: Primer Curso Taller sobre Producción, Comercialización e Industrialización de Ajo. 28 - 30 Noviembre, INTA, La Consulta, Mendoza 3A, Argentina
- Soria, A.C. 2012,** sample preparation for the determination of carbohydrates in food and beverages, Instituto de química organica general, Madrid, España, Vol. 4 pp 213-243.
- Teran Q. O., 1997,** El cultivo del ajo, Primera edición, Editorial FIDA, la paz, Bolivia.

- Torija, M; Matallana, M. y Chalup, N. 2013.** El ajo y la cebolla: de las medicinas antiguas al interés actual. Real Sociedad Española de Historia Natural Sección Biológica. Vol. 107
- UCDAVIS., 2015,** Garlic, maintaining produce quality y safety, postharvest technology. <http://postharvest.ucdavis.edu/Hortalizas/Ajo/>
- Van arkel J., 2013,** Tailor-made fructan synthesis in plants. a review, Carbohydrate polymers, Vol. 93, pp:48-56.
- Van Laere, A., Van den Ende, W., 2002.** Inulin metabolism in dicots: chicory as a model system. Plant Cell Environ. 25, 803–813.
- Viola H., 2017.** Informe Mercado del ajo en China, Ministerio de Agroindustria de Argentina, Argentina.
- Ledesma A., Arguello J.A., Nuñez S.B., Rodríguez C.** 50 temas sobre producción de ajo, Mendoza, Argentina, Vol. 4, 1997.
- Vares F., 1987.** Algunas enfermedades y plagas del ajo en la zona productora castellano-manchega de la provincia de Cuenca, Departamento de Protección Vegetal, 13: 21-52.
- Voet D., 2006,** Bioquímica, tercera edición, editorial panamericana, Buenos Aires, Argentina.
- Waleckx E., Gschaedler, A., Colonna-Ceccaldi, B., & Monsan, P. (2008).** Hydrolysis of fructans from Agave tequilana Weber var. azul during the cooking step in a traditional tequila elaboration process. Food Chemistry, 108, 40-48.
- Zamora E., 2016,** El cultivo del ajo, División de ciencias y la salud, Departamento de agricultura y ganadería, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México. <https://dagus.unison.mx/Zamora/AJO-DAG-HORT-014.pdf>

## VII. ANEXOS



A1. Curva de calibración para azúcares reductores (DNS) con Fructosa.