

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	3
ÍNDICE DE GRAFICAS	3
RESUMEN	4
I. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Objetivo general	7
1.2. Meta	7
1.3. Hipótesis	7
II. REVISIÓN DE LITERATURA	8
2.1. Historia de la cebolla	8
2.3. Manejo del cultivo	12
2.3.1. Preparación del terreno	12
2.3.2. Siembra y trasplante	12
2.3.3. Escardas	13
2.3.4. Nutrición	14
2.3.5. Riego	15
2.3.6. Plagas.	16
2.3.7. Enfermedades.....	17
2.4. Descripción botánica y taxonómica	18
2.4.1. Descripción botánica.....	18
2.4.2. Taxonomía.....	18
2.5. Propiedades de la cebolla en la salud humana	19
2.5.1. Fructanos	19
2.5.2. Compuestos azufrados.....	20
2.5.3. Compuestos fenólicos.....	20
2.6. Composición nutrimental	21
2.7. Cosecha y manejo poscosecha	22
2.7.1. Cosecha	22
2.7.2. Curado.....	22
2.7.3. Corte de follaje y limpieza de raíces.....	23
2.7.4. Selección y clasificación.....	23
2.7.5. Empaque y pesado	24
2.7.6. Almacenamiento	24



2.8. Cambios bioquímicos de cebolla en poscosecha	25
2.8.1. Carbohidratos.....	25
2.8.2. Ácidos orgánicos	25
2.8.3. Pungencia.....	25
2.8.4. Flavonoides	25
2.8.5. Ácido ascórbico.....	26
2.9. Componentes de calidad	26
2.9.1. Color	26
2.9.2. Apariencia.....	26
2.9.3. Flavor.....	27
2.9.4. Textura	28
2.9.5. Valor nutricional	28
2.10. Espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR)	29
2.10.1. Quimiometría.....	31
2.11. Usos de la espectroscopía NIR en la agronomía	36
2.12. Estudios de la espectroscopía NIR en cebollas	37
III. MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1. Análisis estadístico	38
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1. Coeficiente de determinación	39
4.2. Raíz del error cuadrático medio para la validación cruzada.....	40
4.3. Modelo de predicción.....	41
4.4. Valores de coeficiente de regresión del modelo.....	42
4.5. Puntos influyentes	43
V. CONCLUSIONES	44
VI. RECOMENDACIÓN	44
VII. LITERATURA CITADA	45



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variedades de cebollas blancas, amarillas y moradas.	5
Figura 2. Uso del sensor NIR portátil en cebolla	6
Figura 3. Trasplante de la cebolla	12
Figura 4. Maleza hierba de zorro en cultivo de cebolla. Figura 5. Pendimetalina 100ml.....	13
Figura 6. Riego por aspersion en cebollas	15
Figura 7. Riego por goteo en cebollas.	15
Figura 8. Cosechado y curado del cultivo de la cebolla.....	20
Figura 9. Cosecha y curado del cultivo de cebolla.	22
Figura 10. Clasificación de tamaños en cebollas.	23
Figura 11. Cebollas recién empacadas en campo.	24
Figura 12. Almacenamiento de la cebolla.	24
Figura 13. La espectroscopía en muchas de sus aplicaciones.....	29

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 1. Superficie y Volumen de Produccion	9
Grafica 2. Rendimiento y Valor de Produccion.....	9
Grafica 3. Estados Productores de Cebolla en 2012.....	10
Grafica 4. Precio al Mayoreo de la Cebolla en México.....	11
Grafica 5. Número de artículos que implican el uso de espectrómetros NIR portátiles de la industria agroalimentaria desde el año 2003	30



RESUMEN

Se realizó una investigación en cebolla morada para cuantificar el contenido de pH de una manera no destructiva, mediante el equipo portátil F-750 Produce Quality Meter (Felix Instruments F750[®]; Camas, Washington, USA). Para dicha investigación se utilizaron dos tipos de pruebas: Destructiva y no destructiva. El estudio se realizó bajo un diseño completamente al azar donde la unidad experimental fue una cebolla, para dicho estudio se utilizaron 50 repeticiones por muestreo tomando en cuenta la etapa de madurez, obteniendo de esta manera 200 repeticiones por toda la investigación. Se desarrollaron 4 sesiones con intervalos de 15 días por muestreo, asimismo tomando en cuenta la temperatura que se generalizo para incorporar la unidad experimental para observar alguna variante entre etapa de madurez, temperatura y contenido de pH; las temperaturas asignadas fueron 0°C, 17°C y 35°C. Para realizar los espectros se aplicó la prueba de mínimos cuadrados parciales (PLS) con una suavización previa por el método de Savitzky-Golay para obtener los modelos de calibración. Se tomó en cuenta la detección de puntos influyentes, exactitud del modelo, valores de coeficiente de regresión y robustez. El manejo del equipo portátil F-750 Produce Quality Meter (Felix Instruments F750[®]; Camas, Washington, USA) en cebolla morada fue productivo, puesto que pudo detectar el contenido de pH aunque el modelo no fuese tan bueno pero si concreto. El uso de la tecnología no destructiva para cuantificar pH es competente en cebolla morada.



I. INTRODUCCIÓN

El Valle de Mexicali es conocido por producir hortalizas del género *Allium*, donde se encuentra el leek (*Allium ampeloprasum* L.), el cebollín (*Allium schoenoprasum* L.) y en menor proporción cebolla seca (*Allium cepa* L.). Dadas las condiciones climatológicas de la región, el 60 % de la superficie sembrada de hortalizas, se cosecha en el ciclo otoño-invierno. En el Valle se producen más de 30 especies, entre las que destacan el cebollín, espárrago, rábano, lechuga, ajo, cebolla seca, melón, apio, sandía, zanahoria, cilantro, calabacita, col, tomatillo, rapini, espinaca, betabel y leek, entre otras (Anónimo, 2014).

Uribe (2010) menciona que es la cebolla seca es la quinta hortaliza más cultivada en el país y que se exportan alrededor de 176 mil toneladas a nuestro vecino del norte, que equivalen al 15 % de la producción nacional con un valor aproximado de 127 millones de dólares. En México se concentra el 95 % de la producción en los estados de Chihuahua, Tamaulipas, Michoacán, Baja California, Guanajuato, Zacatecas, Morelos, Puebla, San Luis Potosí, Jalisco y Sonora. Se destina un 85 % de la producción en fresco para consumo nacional, y 12 % para industrialización, y es aquí cuando la calidad de la cebolla cobra importancia, ya que no sólo se deben de tomar en cuenta las características físicas de tamaños, firmeza y libre de defectos para su comercialización, sino también algunas como el color, los sólidos solubles totales (SST) y más importante aún, la concentración de piruvato y tiosulfatos como indicadores de pungencia (Wall y Corgan, 1992).



Figura 1. Variedades de cebollas blancas, amarillas y moradas.



Existen métodos analíticos que cuantifican características químicas de las cebollas, pero generalmente son tediosos y costosos por los reactivos y equipos que se utilizan. Actualmente en el campo de la horticultura se cuenta con herramientas novedosas, precisas y no destructivas para la cuantificación de atributos de calidad en productos hortícolas (Nicolaï et al., 2007) como es la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR, en inglés). Las aplicaciones de esta tecnología en cultivos hortícolas es variada: cuantificación de firmeza, materia seca, pH, acidez, sst, desordenes internos, composición de aceites esenciales, pectinas, etc.

Específicamente en el cultivo de cebolla fue donde se hicieron los primeros estudios hortícolas en el que se utilizó espectrometría NIR (Birth *et al.*, 1985), en el que se obtuvo un modelo que cuantifica materia seca en cebollas South White Globe de manera no destructiva. Ya más recientemente, Ito y Morimoto (2014) utilizaron esta tecnología para detectar de manera no destructiva, pardeamiento interno en cebollas variedad Momiji 3. Desafortunadamente sólo existen estos dos trabajos en los que se ha utilizado tecnología NIR no destructiva para detectar algunas características de calidad en cebollas secas y dada la importancia actual de atributos de calidad como el color que brindan los pigmentos, el pH y sst, los fenoles y antocianinas, y la concentración de piruvato en cebolla seca, se pretende realizar un estudio en el que se evalúen algunas características de calidad de cebolla mediante el uso de un sensor NIR portátil.



Figura 2. Uso del sensor NIR portátil en cebolla morada



1.1. Objetivo general

Cuantificar el pH de cebolla morada por medio de un sensor NIR portátil.

1.2. Meta

Determinar el pH de manera no destructiva de la cebolla morada mediante un sensor NIR portátil.

1.3. Hipótesis

La cuantificación del pH en cebolla morada podrá ser detectada por medio de un sensor NIR portátil.



II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Historia de la cebolla

La cebolla ha sido cultivada durante 4700 años o más y no existen especies silvestres. La domesticación de la cebolla comenzó en las regiones montañosas Turkmenistán y al norte de Irán. Por lo tanto, Asia sudoccidental es considerada el principal centro de domesticación y variabilidad. Otras regiones de gran diversidad como el Mediterráneo son considerados centros secundarios (Hanelt, 1990; Fritsch y Friesen, 2002). Se conoce que la cebolla fue cultivada por los egipcios, los griegos y los romanos; algunas referencias antiguas indican que al menos ya se conocía en el año 3200 AC y que los Sumerios la consumían en el año 2500 AC. Hay certeza de que fue un producto muy valorado por los egipcios, junto con el puerro y el ajo; y los romanos y griegos la consumían muchísimo.

De hecho las civilizaciones mencionadas creían que al consumir cebolla sus soldados veían aumentada su fuerza. Creencia que aumentó aún más su popularidad. Se cree que fue durante la expansión del imperio romano, y por ende de la cebolla, que se desarrollaron las cebollas de bulbo grande, de las cuales descienden las variedades modernas. Otros autores opinan que fue hasta la Edad Media cuando el cultivo en países mediterráneos permitió el desarrollo de las variedades de bulbo grande. Lo que sí se sabe con certeza es que durante la Edad Media fueron las cebollas, junto con las coles y las habas, los cultivos que impidieron aún más muertes debidas a las hambrunas, cosa común durante esa época de la humanidad (Infoagro, 2016).

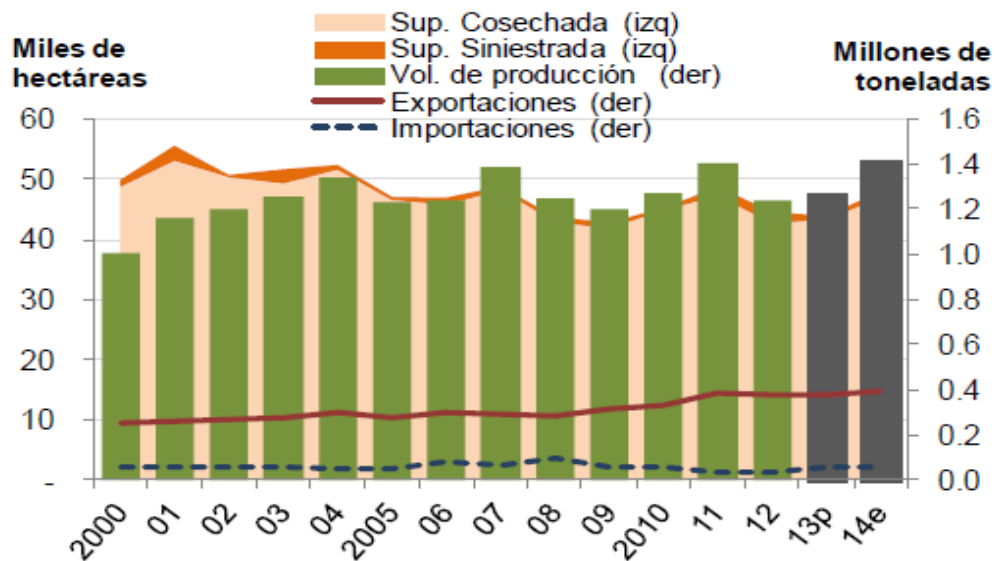
Sea como fuere la cebolla arribó a América junto con los primeros colonizadores, quienes la introdujeron en la comida de los pueblos nativos que a su vez la incorporaron con mucho éxito en su cocina. Actualmente la cebolla es un cultivo que se encuentra prácticamente en todo el mundo (Infoagro, 2016).



2.2. Importancia económica y comercialización

En el mundo se producen más de 1,100 millones de toneladas de cebolla, la hortaliza más importante después del tomate, en una superficie de 4.2 millones de hectáreas. México es el décimo segundo mayor productor (FAO), ocupando el 1% tanto de la superficie mundial como del volumen global (Anónimo, 2014).

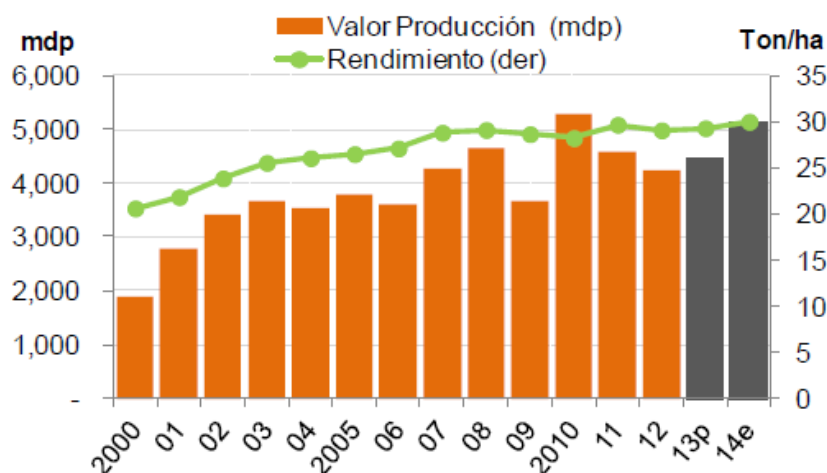
Grafica 1. Superficie y Volumen de Produccion



Fuente: SIAP-SAGARPA. /p Cifras preliminares /e Cifras estimadas

En México, la cebolla es la tercera hortaliza más relevante después del tomate y el chile, con una participación de casi el 8% de la superficie de este grupo y el 10% del volumen producido (Anónimo, 2014).

Grafica 2. Rendimiento y Valor de Produccion



Fuente: SIAP-SAGARPA. /p Cifras preliminares /e Cifras estimadas

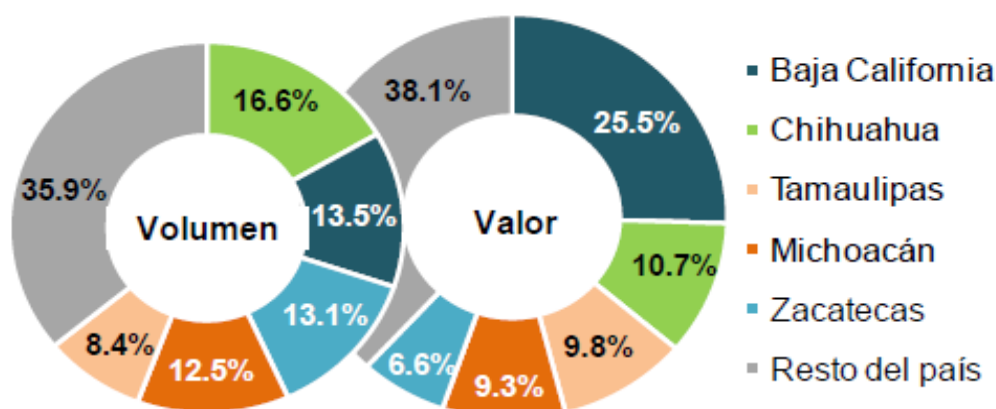


En el 2013, la superficie sembrada de cebolla en México alcanzó las 44 mil hectáreas, con un volumen obtenido de 1.3 millones de toneladas y un rendimiento de 29.3 ton·ha⁻¹. La superficie de esta hortaliza ha disminuido un 15% entre 2003 y 2013, mientras que el rendimiento ha mostrado un incremento de la misma proporción, por lo que la producción no ha variado significativamente (Anónimo, 2014).

Cerca del 95% de la producción se realiza mediante riego. Asimismo el 40% corresponde al ciclo Otoño-Invierno y el 60% al Primavera-Verano. De la producción nacional, el 90% corresponde a cebolla blanca, 7% es morada (roja para otros países), 2% amarilla y 1% son cebollines. La producción se destina principalmente al consumo en fresco (85%), la industrialización (12%) como sazónador, aderezo, deshidratado, granulado, hojuelas, etc., y para la elaboración de aceites (3%) (Anónimo, 2014).

Actualmente se exporta alrededor de un 30% de la producción nacional, 380 mil toneladas, que en su mayoría (99%) corresponde a cebollas frescas y refrigeradas. Mientras que se importa cerca de 6% del consumo aparente (60 mil ton en 2013).

Grafica 3. Estados Productores de Cebolla en 2012



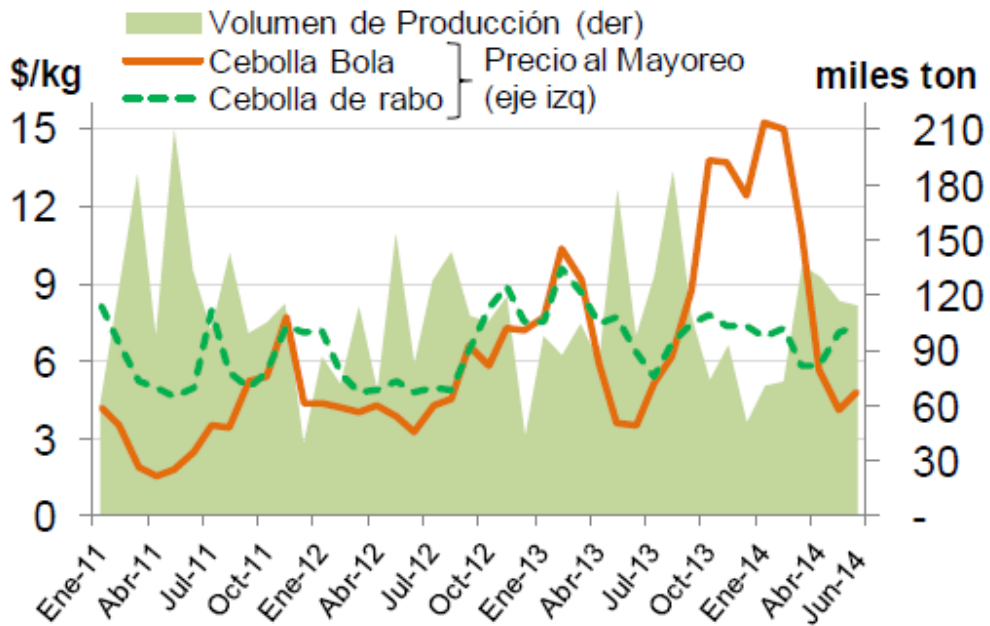
Fuente: SIAP-SAGARPA.

Cinco entidades concentran el 64.1% del volumen y 61.9% del valor a nivel nacional: Chihuahua, Baja California, Zacatecas, Michoacán y Tamaulipas.



El mayor volumen de producción de cebolla en el país se concentra, en el caso del ciclo OI entre marzo y junio (80%) y en el caso del ciclo PV entre julio y noviembre (76%). De tal manera que los meses de menor producción se encuentran entre diciembre y febrero, en los cuales tiende a elevarse el precio de la hortaliza. El precio también se ve afectado por factores climáticos y plagas (Anónimo, 2014).

Grafica 4. Precio al Mayoreo de la Cebolla en México



Fuente: SIAP-SAGARPA y SNIIM.



2.3. Manejo del cultivo

Para llevar a cabo una buena producción de cebolla, se deben realizar correctamente las labores correspondientes: preparación de terreno, siembra y trasplante, escardas, nutrición, riego y plagas y enfermedades en el cultivo.

2.3.1. Preparación del terreno

La profundidad de la labor preparatoria varía según la naturaleza del terreno. En suelos compactos la profundidad es mayor que en los sueltos, en los que se realiza una labor de vertedera, sin ser demasiado profunda (30-35 cm.), por la corta longitud de las raíces. Hasta la siembra o plantación se completa con los pases de grada de discos necesarios, normalmente con 1-2, seguido de un pase de rulo o tabla, para conseguir finalmente un suelo de estructura fina y firme. Si el cultivo se realiza sobre caballones, éstos se disponen a una distancia de 40 cm, siendo este sistema poco utilizado actualmente (Infoagro, 2016).

2.3.2. Siembra y trasplante

La siembra de la cebolla puede hacerse de forma directa o en semillero para posterior trasplante, siendo esta última la más empleada. La cantidad de semilla necesaria es muy variable ($4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$), normalmente se realiza a voleo y excepcionalmente a chorrillo, recubriendo la semilla con una capa de mantillo de 3-4 cm. de espesor. La época de siembra varía según la variedad y el ciclo de cultivo.



Figura 3. Trasplante de la cebolla



A los tres o cuatro meses se procede al trasplante; obteniéndose aproximadamente unas 1.000 plantas/m² de semillero, es importante que el semillero esté limpio de malas hierbas, debido al crecimiento lento de las plantas de cebolla y su escaso grosor. La plantación se puede realizar a mano o con trasplantadora; en el primer caso se utilizará una azadilla, colocando una planta por golpe. Se dejará 10-12 cm entre líneas y 10-12 cm entre plantas dentro de la misma línea. distanciados entre sí 50-60 cm, sobre los que se disponen dos líneas de plantas distanciadas a 30-35 cm y 10-15 cm entre plantas (Infoagro, 2016). También se realiza la plantación en caballones y apretando la tierra para favorecer el arraigo. Seguidamente se dará un riego, repitiéndolo a los 8-10 días.

2.3.3. Escardas

El control de malas hierbas es imprescindible para obtener una buena cosecha, pues se establece una fuerte competencia con el cultivo, debido principalmente al corto sistema radicular de la cebolla. Se realizarán repetidas escardas con objeto de airear el terreno, interrumpir la capilaridad y eliminar malas hierbas. La primera se realiza apenas las plantas han alcanzado los 10 cm de altura y el resto, cuando sea necesario y siempre antes de que las malas hierbas invadan el terreno. Los ingredientes activos de los herbicidas de preemergencia más utilizados en el cultivo de la cebolla son: Pendimetalina, Oxifluorfen, Propacloro, Triaxalaxil y Loxinil octanoato (Infoagro, 2016).



Figura 4. Maleza hierba de zorro en cultivo de cebolla.



Figura 5. Pendimetalina 100ml.



2.3.4. Nutrición

En suelos poco fértiles se producen cebollas que se conservan mejor, pero, naturalmente, su desarrollo es menor. Para obtener bulbos grandes se necesitan tierras bien fertilizadas. No deben cultivarse las cebollas en tierras recién estercoladas, debiendo utilizarse las que se estercolaron el año anterior.

Cada 1.000 kg de cebolla (sobre materia seca) contienen 1,70 kg de fósforo, 1,56 kg de potasio y 3,36 kg de calcio, lo cual indica que es una planta con elevadas necesidades nutricionales. La incorporación de abonado mineral se realiza con la última labor preparatoria próxima a la siembra o a la plantación, envolviéndolo con una capa de tierra de unos 20cm. El abonado en cobertera se emplea únicamente en cultivos con un desarrollo vegetativo anormal, hasta una dosis máxima de $400 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrosulfato amónico del 26% N, incorporándolo antes de la formación del bulbo (Infoagro, 2016).

-Nitrógeno. La absorción de nitrógeno es muy elevada, aunque no deben sobrepasarse los 25 kg por hectárea, e influye sobre el tamaño del bulbo. Por regla general, basta con un suministro días antes del engrosamiento del bulbo y después del trasplante, si fuese necesario. El abono nitrogenado mineral favorece la conservación, ocurriendo lo contrario con el nitrógeno orgánico. El exceso de nitrógeno da lugar a bulbos más acuosos y con mala conservación.

-Fósforo. La necesidad en fósforo es relativamente limitada y se considera suficiente la aplicación en el abonado de fondo. Se deberá tener en cuenta que el fósforo está relacionado con la calidad de los bulbos, resistencia al transporte y mejor conservación.

-Potasio. Las cebollas necesitan bastante potasio, ya que favorece el desarrollo y la riqueza en azúcar del bulbo, afectando también a la conservación.

-Calcio. El suministro de calcio no es por norma necesario si el terreno responde a las exigencias naturales de la planta.



2.3.5. Riego

El primer riego se debe efectuar inmediatamente después de la plantación. Posteriormente los riegos serán indispensables a intervalos de 15-20 días. El número de riegos es mayor para las segundas siembras puesto que su vegetación tiene lugar sobre todo en primavera o verano, mientras que las siembras de fin de verano y otoño se desarrollan durante el invierno y la primavera. El déficit hídrico en el último período de la vegetación favorece la conservación del bulbo, pero confiere un sabor más acre. Se interrumpirán los riegos de 15 a 30 días antes de la recolección. La aplicación de antitranspirantes suele dar resultados positivos (Infoagro, 2016).

Figura 6. Riego por aspersión en cebollas



Figura 7. Riego por goteo en cebollas.



2.3.6. Plagas.

Las principales plagas que atacan el cultivo son:

Nombre común	Nombre científico	Daños que provoca	Control
Escarabajo de la cebolla	<i>Lylyoderys merdigera</i>	Los escarabajos adultos perforan las hojas mientras que Las larvas recortan bandas paralelas a los nervios de las hojas.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Dialifor 47 % LE, a 200 cc/Hl. ✓ Metil-azinfos 2 % E, a 20-30 Kg/Ha.
Mosca de la cebolla	<i>Hylemia antigua</i>	Ataca a las flores y órganos verdes.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Clorpirifos 5 %, a 60 kg/Ha. ✓ Dimetoato 40 % LE, a 100-125 cc/Hl.
Polilla de la cebolla	<i>Acrolepia assectella</i>	Causan daños al penetrar las orugas por el interior de las vainas de las hojas hasta el cogollo. Se para el desarrollo de las plantas, amarillean las hojas y puede terminar pudriéndose la planta, ya que puede dar lugar a infecciones secundarias causadas por hongos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Carbaril 50 % PM, a 200-250 g/Hl. ✓ Endosulfan 35 % LE, a 150-300 cc/Hl.

Fuente: Infoagro, 2016



2.3.7. Enfermedades

Las principales enfermedades que atacan al cultivo son:

Nombre común	Nombre científico	Características	Control
Mildiu	<i>Peronospora destructor</i>	En las hojas nuevas aparecen unas manchas alargadas que se cubren de un fieltro violáceo.	✓ Benalaxil 4% + Oxicloruro de cobre 33% ✓ Clortalonil 15% + Mancozeb 64%
Roya	<i>Puccinia sp.</i>	Origina manchas pardo-rojizas que después toman coloración violácea, en las cuales se desarrollan las uredosporas. Las hojas se secan prematuramente como consecuencia del ataque.	✓ Ziram 90 % PM, a 200-300 g/Hl. ✓ Maneb 80 % PM, a 200-300 g/Hl.
Botritis	<i>Botrytis squamosa</i>	Manchas de color blanco-amarillo que se manifiestan por toda la hoja. Cuando el ataque es severo se produce necrosis foliar. Ocurre en condiciones de humedad.	✓ Clortalonil 15% + Maneb 64% ✓ Diclofluanida 3%

Fuente: Infoagro, 2016



2.4. Descripción botánica y taxonómica

Allium cepa L., comúnmente conocida como cebolla, es una planta herbácea bianual perteneciente a la familia de las Alliaceae. Es la especie más ampliamente cultivada del género *Allium*, el cual contiene varias especies más que se denominan 'cebollas' y que se cultivan como alimento (Fritsch, 2002).

2.4.1. Descripción botánica

-Planta: Bienal, a veces vivaz de tallo reducido a una plataforma que da lugar por debajo a numerosas raíces y encima a hojas, cuya base carnosa e hinchada constituye el bulbo.

-Bulbo: Está formado por numerosas capas gruesas y carnosas al interior, que realizan las funciones de reserva de sustancias nutritivas necesarias para la alimentación de los brotes y están recubiertas de membranas secas, delgadas y transparentes, que son base de las hojas.

-Sistema radicular: Es fasciculado, corto y poco ramificado; siendo las raíces blancas, espesas y simples.

-Tallo: El tallo que sostiene la inflorescencia es derecho, de 80 a 150 cm de altura, hueco, con inflamamiento ventrudo en su mitad inferior.

-Hojas: Envainadoras, alargadas, fistulosas y puntiagudas en su parte libre.

Flores: Hermafroditas, pequeñas, verdosas, blancas o violáceas, que se agrupan en umbelas.

-Fruto: Es una cápsula con tres caras, de ángulos redondeados, que contienen las semillas, las cuales son de color negro, angulosas, aplastadas y de superficie rugosa (Infoagro, 2016).

2.4.2. Taxonomía

Allium cepa fue descrita por Carlos Linneo en 1753 y se describe como:

Reino: Plantae	Orden: Asparagales	Tribu: Allieae
División: Magnoliophyta	Familia: Amaryllidaceae	Género: Allium
Clase: Liliopsida	Subfamilia: Allioideae	Especie: Allium cepa



2.5. Propiedades de la cebolla en la salud humana

Un alimento funcional es uno que tiene beneficios fisiológicos demostrables más allá de la nutrición (Farr 1997). Por ejemplo, el aumento del consumo de frutas y verduras puede reducir el riesgo de enfermedades del corazón y el cáncer (Craig 1997; Farr 1997; Lorgèril *et al* 1998;. Milner 1998). El consumo de cebolla y relacionados a *Alliums*, incluyendo el ajo (*A. sativum* L.) y el puerro (*A. ampeloprasum* L.), se asocia con la reducción de lípidos en la sangre, el colesterol y la actividad plaquetaria, lo que contribuye a la disminución del riesgo de enfermedades cardiovasculares (Sainani *et al.*, 1976; Hendler 1987; Augusti 1990). La cebolla es rica en propiedades que hacen de ella un tónico general y un estimulante. Debido a su contenido en vitaminas A y C puede tratar todo tipo de enfermedades respiratorias, también gracias a su contenido en vitamina B puede tratar enfermedades nerviosas. Tiene ciertas propiedades antianémicas, y gracias a su contenido en hierro, fósforo y mineral repone la pérdida de sangre y glóbulos rojos. La cebolla protege contra infecciones y sobre todo regula el sistema digestivo manteniendo el balance de los fermentos digestivos y previniendo los parásitos intestinales (Infoagro, 2016).

La cebolla debe sus propiedades funcionales a varios compuestos entre los que, al igual que en el ajo, destacan los azufrados, que son precursores del aroma además de proporcionarles características beneficiosas para la salud (Rodríguez Galdón *et al.*, 2008). A continuación se describirá la importancia de la presencia de los compuestos bioactivos en cebolla.

2.5.1. Fructanos

Los fructanos son compuestos que se incluyen en la fracción hidrocarbonada de estos bulbos. Son polímeros de fructosa, derivados de la molécula de sacarosa. Se caracterizan por su importante papel como agentes prebióticos, incluidos dentro de la fracción fibra de los alimentos, papel que se caracteriza porque facilitan el desarrollo de la flora intestinal y previenen numerosas enfermedades (Torija Isasa, 2011).



2.5.2. Compuestos azufrados

Entre las características más destacadas de la cebolla se encuentra su aroma y debido a ello este alimento se utiliza como condimento. Los agentes responsables son numerosos compuestos azufrados que aunque no desprenden ningún olor cuando el bulbo está entero, sí lo hacen una vez se trocea o manipula debido a una serie de reacciones enzimáticas (Cabeza Herrera et al. 2006; Muñoz Quezada et al., 2010). El componente mayoritario es la aliína, sustancia inodora. A partir de ella se produce alicina por acción enzimática. El paso del precursor al factor lacrimógeno se debe a la acción de la aliinasa. Los subproductos de la descomposición de la alicina son el piruvato y el amoníaco (Block, 1985). Todos estos compuestos organosulfurados se han estudiado en los últimos años y han despertado gran interés por su efecto protector ante enfermedades cardiovasculares, dado que disminuyen los niveles plasmáticos de colesterol y triglicéridos, actúan como antiagregantes plaquetarios e hipotensores.

2.5.3. Compuestos fenólicos

Otro grupo de compuestos bioactivos de los bulbos que nos ocupan son los polifenoles, entre los que destacan los flavonoides. La quercetina es el flavonoide más abundante, y es el que presenta mayor actividad antioxidante. Las cebollas rojas, las manzanas, las uvas, el brócoli y el té son alimentos con alto contenido en quercetina. Este compuesto tiene la capacidad de reducir los procesos inflamatorios agudos y crónicos, algunos de ellos asociados con la obesidad y la diabetes (Cao et al., 1996; Bozin et al., 2008; Muñoz Quezada et al., 2010). Algunos compuestos bioactivos como la quercetina pueden estimular la lipólisis o apoptosis en los adipocitos disminuyendo el contenido de grasa corporal (Muñoz Quezada et al., 2010).



2.6. Composición nutrimental

Se trata de un alimento de poco valor energético y muy rico en sales minerales. En la siguiente tabla se muestra el contenido de nutrientes en 100 gramos de bulbo crudo:

Nutrientes	Contenido
Agua	86 g
Hierro	0.50 mg
Prótidos	1.4 g
Manganeso	0.25 mg
Lípidos	0.2 g
Cobre	0.10 mg
Glúcidos	10 g
Zinc	0.08 mg
Celulosa	0.8 g
Yodo	0.02 mg
Potasio	180 mg
Ácido ascórbico	28 mg
Azufre	70 mg
Nicotinamida	0.50 mg
Fosforo	44 mg
Ácido pantotenico	0.20 mg
Calcio	32 mg
Riboflavina	0.07 mg
Cloro	25 mg
Tiamina	0.05 mg
Magnesio	16 mg
Carotenoides	0.03 mg
Sodio	7 mg
Calorías	20-35

Fuente: Infoagro. 2016



2.7. Cosecha y manejo poscosecha

2.7.1. Cosecha

Normalmente se cosecha la cebolla 90 días después del trasplante; esto varía dependiendo en la variedad, la zona y el mes de año. Para determinar el momento de cosecha se debe considerar dos criterios básicos:

- En verano la plantación presenta entre el 30 a 50% de tallos doblados.
- En invierno, sí el bulbo es de buen tamaño y se observan las primeras plantas con dobles de los tallos hay que proceder a doblar todos los tallos con un barril, dejándolos antes de la cosecha por uno a tres días dependiendo del clima. La cosecha se hace manual y hay que hacerlo con mucho cuidado tratando de no lastimar el bulbo al momento de arrancarlo (EDA, 2007).

2.7.2. Curado

Las cebollas se colocan en el surco, de manera que las hojas cubran completamente los bulbos. Con esto se logra el curado y secado del follaje y proteger los bulbos contra las quemaduras por sol. Normalmente se dejan los bulbos en el campo por 2 a 7 días; el tiempo exacto dependerá del clima. Un bulbo bien curado debe tener las hojas externas bien secas y el cuello totalmente seco. Una manera práctica para determinar este criterio es a través de la prueba del tacto, palpando con los dedos el cuello del bulbo; después del curado no debe quedar presencia de humedad en los dedos. Si el ambiente está muy húmedo, se recomienda voltear los bulbos para que el curado y secado sea más uniforme. Con esta práctica se logran dos cosas muy importantes: secar las capas externas que cubren el bulbo (lo cual le dará una mayor protección contra la deshidratación interna y daños físicos) y cerrar al máximo el cuello de los bulbos (lo que impide la pérdida de agua por deshidratación y se evita la contaminación por hongos y bacterias, que afectan el bulbo cuando el cuello está demasiado húmedo) (EDA, 2007).



Figura 8. Cosecha y curado del cultivo de cebolla.



2.7.3. Corte de follaje y limpieza de raíces

Después del proceso del curado, se procede a cortar el follaje, dejando 1 pulgada del tallo seco para proteger el bulbo. También se cortan o separan del bulbo las raíces y se eliminan algunas hojas externas que estén manchadas o sucias (no pelar el bulbo). De esta manera se logra darle a los bulbos una buena presentación, de manera que se vean limpios y con el color característico de la variedad (EDA, 2007).

2.7.4. Selección y clasificación

Los bulbos deberán ser enteros de forma globular, fisiológicamente desarrollados, firmes, sanos, secos, limpios, con las raíces cortadas contra la base, con el tallo recortado a 1 pulgada del bulbo. El color debe ser característico de la variedad. Deben estar libres de putrefacción (podriciones), suciedad, tierra, daños de insectos, enfermedades o cualquier otro material extraño. Los bulbos se clasifican por tamaños, de manera de alcanzar uniformidad en el empaque. Esta operación puede hacerse manual (aros y mesas para la clasificación) o mecanizada. De acuerdo a su diámetro se clasifican en cuatro tamaños:

-Jumbo: Los mayor de 105mm de diámetro

-Grande: Bulbos entre 90 y 105 mm

-Mediana: Bulbos entre 70 y 85 mm

-Pequeña: Bulbos entre 50 y 65 mm

Estas medidas, son estipuladas por el comprador (EDA, 2007).



Figura 9. Clasificación de tamaños en cebollas.



2.7.5. Empaque y pesado

Las cebollas son empacadas en bolsas de malla nuevos, limpios y secos que no transmitan olor o sabor extraño al producto. Son diferenciados por tamaños, y es importante lograr uniformidad en la bolsa de acuerdo al tamaño (no mezclar tamaños en la bolsa). Seguidamente se procede al pesado de las bolsas (52



lbs netas); se incluye dos libras adicionales para compensar el peso que pierde la cebolla en el transporte y almacenamiento. Finalmente, se procede al cierre de la bolsa (EDA, 2007).

Figura 10. Cebollas recién empacadas en campo.

2.7.6. Almacenamiento

La cebolla se puede almacenar temporalmente, por un período de 6 a 8 semanas, en un lugar fresco, seco y bien ventilado. No requiere un cuarto frío bajo estas condiciones. Las bolsas se estiban sobre tarimas, colocando de 5 a 8 bolsas de cama, a una altura de 5 a 6 camas alternadas. Si se cuenta con suficiente área de almacenamiento se recomienda poner las bolsas en posición vertical para evitar el roce o daño mecánico que se ocasiona entre bolsa y bolsa al estibar en camas (EDA, 2007).



Figura 11. Almacenamiento de la cebolla.



2.8. Cambios bioquímicos de cebolla en poscosecha

2.8.1. Carbohidratos

Los carbohidratos hidro-solubles que constituyen a los bulbos de cebolla son la fructosa, glucosa, sucrosa y una serie de oligo-fluctanos. Los carbohidratos simples y los fructanos de bajo grado de despolimerización se encuentran en mayor proporción, aunque en cebollas dulces presenta muy poca o nula cantidad de fructanos (Gubb y MacTavish, 2002). A través del almacenamiento, los fructanos son hidrolizados gradualmente en fructosa, pero cuando empieza el rebrote la sucrosa se sintetiza y se transporta al rebrote y al plato basal para su crecimiento (Pak *et al.*, 1995).

2.8.2. Ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos predominantes en cebolla son el málico y el cítrico con pequeñas cantidades de fumárico y succínico (Gubb y MacTavish, 2002). En cebolla seca, la concentración de los ácidos orgánicos se incrementa a través del tiempo de almacenamiento a 30 °C. La relación de citrato-malato varía de 1 a 5 a 0 °C y de 2 a 1 a 30 °C (Salama *et al.*, 1990).

2.8.3. Pungencia

Block *et al.* (1992) reportaron que los tiosulfatos responsables de la pungencia de la cebolla son el ácido 1-propanosulfonotioico S-(Z)-propenil ester, el 1-propanosulfonotioico S-1-propil ester y el ácido metanosulfonotioico S-(Z)-propenil ester.

2.8.4. Flavonoides

Los flavonoides son un grupo de metabolitos secundarios de las plantas que desde el punto de vista biológico tiene una gran capacidad antioxidante (Jafari y Bourouni, 2009). En cebollas y cebollines, los flavonoides predominantes de la parte comestible son la quercetina 3,4'-O-diglucósido y quercetina 4'-O-monoglucósido (Price y Rhodes, 1996) que son los responsables del color blanco.



2.8.5. Ácido ascórbico

El contenido de vitamina C en cebolla disminuye mientras se incrementan las temperaturas de almacenamiento en algunos cultivares de día corto (Gubb y MacTavish, 2002).

2.9. Componentes de calidad

Calidad es un término que denota un grado de excelencia o un alto valor. Según Kramer (1995) la calidad de los alimentos puede ser definida por la composición de aquellas características que diferencian unidades individuales de un producto y tienen importancia en determinar el grado de aceptabilidad de dicha unidad por el consumidor. Con respecto a frutas y hortalizas, las características que describen calidad son los siguientes atributos: color y apariencia, flavor (sabor y aroma), textura y valor nutricional (Barrett *et al.*, 2010).

2.9.1. Color

Se deriva de pigmentos naturales en frutas y vegetales, muchos de los cuales cambian como proceso de maduración. Los pigmentos principales que dan calidad del color son las clorofilas (color verde), los carotenoides (colores amarillo, naranja y rojo), las antocianinas (color rojo y azul), los flavonoides (color amarillo) y las betalainas (color rojo). Y la formación de colores café, gris y negro se obtienen de reacciones enzimáticas y no enzimáticas. Las enzimas que participan en las reacciones de pardeamiento incluye a la polifenol oxidasa, la cual cataliza la oxidación de compuestos fenólicos, y la fenilalanina amonionliasa, la cual cataliza la síntesis de precursores a sustratos fenólicos (Barrett *et al.*, 2010).

2.9.2. Apariencia

Se determina por factores físicos que incluyen el tamaño, la integridad, la presencia de defectos (machas y magulladuras, etc.), el brillo y la consistencia. El tamaño y la forma están influenciados por el cultivar, la madurez, el manejo del cultivo y el ambiente donde se desarrolla.



La integridad y la ausencia de defectos que pueden ser afectadas por la exposición a enfermedades e insectos durante el periodo de crecimiento y en las operaciones de cosecha y poscosecha. En frutas y vegetales el brillo se relaciona con la habilidad de reflejar la luz en su superficie y generalmente productos frescos cosechados son más brillantes (Mitcham *et al.*, 1996). El brillo es afectado por el contenido de humedad, la deposición de cera sobre la superficie y por las prácticas de manejo poscosecha. La consistencia o suavidad se utiliza como un término de la apariencia, pero se aplica a productos semi-sólidos, donde se indica la delgadez del producto.

2.9.3. Flavor

Se define como una experiencia única que incluye sensaciones de sabor, olor, presión y en ocasiones sensaciones cutáneas como calor, color y dolor (Anónimo, 1959). El flavor es descrito por el aroma (olor) y el sabor. Los compuestos que dan aroma son volátiles, percibidos principalmente con la nariz, mientras receptores del sabor están en la boca. Mientras que el color y la apariencia son los atributos iniciales de la calidad que nos atraen de las frutas y vegetales, el flavor tiene un gran impacto en la aceptabilidad y deseo de ser consumido nuevamente. El sabor está dividido en cinco sabores primarios: dulce, ácido, salado, amargo y umami. Los olores son muchos más diversos y difíciles de clasificar, que incluye a especias, florales, frutales, resinas o balsámicos, quemado, etc. Stevens (1985) dijo que es posible clasificar a los vegetales en dos grandes grupos, dependiendo de sus características de flavor. El primer grupo de frutas y vegetales que tienen flavor fuerte que puede ser atributo a un compuesto simple o grupo de compuestos relacionados, ejemplo: los plátanos son isoamilacetato, las cebollas con compuestos azufrados y el apio con los ftalidos. El segundo grupo incluye a todos aquellos sabores determinados por un número de volátiles, ejemplo: frijol, melón, tomate.



2.9.4. Textura

Los parámetros de textura en frutas y vegetales son percibidos con el sentido del tacto, también cuando es tomado por la mano o puesto en la boca y masticado. En contraste con el flavor, las características de textura se miden fácilmente usando diferentes métodos instrumentales. La mayoría de las plantas contienen una suficiente cantidad de agua y otros materiales líquidos solubles rodeados por una membrana semi-permeable y la pared celular.

La textura se deriva de la presión de turgencia y de la composición individual de las paredes celulares y de la lámina media que mantiene a células individuales juntas. Las paredes celulares se componen de celulosa, hemicelulosa, sustancias pecticas, proteínas y en caso de vegetales, lignina. Según Bourne (1982) las propiedades de textura de un alimento son un grupo de características físicas que resultan de los elementos estructurales del alimento, y son detectadas por el sentido del tacto, que está relacionada con la deformación, desintegración y flujo del alimento expuesto a una fuerza, y es medida objetivamente por funciones de masa, tiempo y distancia.

2.9.5. Valor nutricional

Las frutas y vegetales son la mayor fuente de macronutrientes como fibra y carbohidratos, y micro-nutrientes como la vitamina C, complejo B (tiamina, riboflavina, B₆, niacina, folato), A, E, minerales y los menos estudiados polifenoles, carotenoides y glucosinolatos (Barrett *et al.*, 2010), los nutrientes hidrosolubles incluyen a la vitamina A, E y carotenoides como licopeno y β -caroteno. La vitamina C es una de las vitaminas más sensibles, siendo degradada rápidamente por exposición al calor, luz y oxígeno. Por esta razón se utiliza como índice nutrimental del departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos.



2.10. Espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR)

La espectroscopía del infrarrojo cercano (NIR) se basa en la absorción de la radiación electromagnética a longitudes de onda en el rango 780-2500 nm. Los espectros NIR de alimentos comprenden amplias bandas derivadas de la superposición de las absorciones correspondientes principalmente a las insinuaciones y las combinaciones de modos vibracionales que C H, O H y N H enlaces químicos. Las concentraciones de los componentes como agua, proteínas, grasas y carbohidratos pueden en principio ser determinadas mediante espectroscopía de absorción clásico. Esto significa que la espectroscopía NIR se convierte en un método secundario que requiere calibración contra un método de referencia para el componente de interés. Como consecuencia de la física de la transmitancia difusa y reflexión y la complejidad de los espectros, la calibración es normalmente llevada a cabo utilizando matemática multivariante (Quimiometría). Espectroscopía NIR se utiliza rutinariamente para el internacional quizás, funcional y análisis sensorial de alimentos ingredientes, productos intermedios del proceso y productos finales. La mayor ventaja de NIR es que generalmente no es necesaria ninguna preparación de la muestra, por lo tanto, el análisis es muy simple y muy rápido (entre 15 y 90 s) y puede realizarse en línea. Además, esta tecnología permite la cuantificación de múltiples variables al mismo tiempo (Brian G., 1993).

La primera utilización de la espectroscopía NIR en usos agrícolas fue realizada por Norris (1964) para medir humedad en granos. Desde entonces se ha utilizado para un análisis rápido del contenido, principalmente humedad,

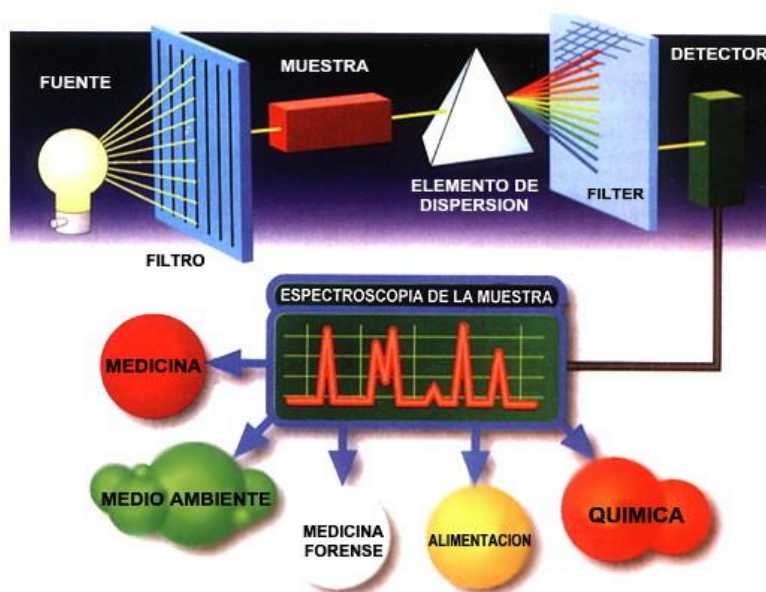


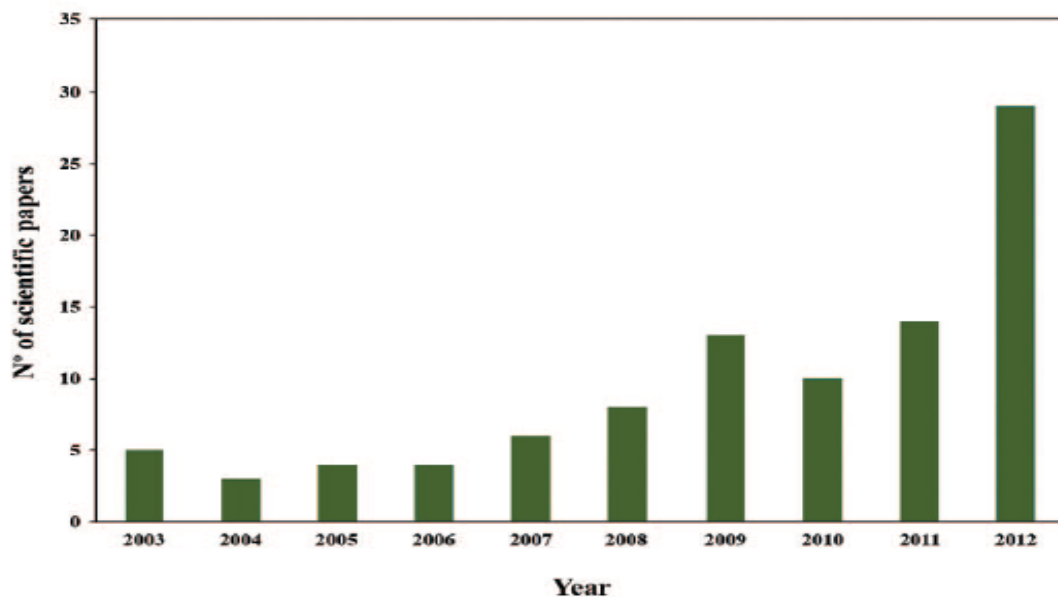
Figura 12. La espectroscopía en muchas de sus aplicaciones.



proteínas y grasas de una gran variedad de productos agrícolas y de productos alimenticios (Davies y Grant, 1987; Gunasekaran y Irudayaraj, 2001). Las primeras aplicaciones en horticultura se centraron en el contenido de materia seca en cebollas (Birth *et al.*, 1985), contenido de sólidos solubles (SST) en manzanas (Bellon-Maurel, 1992) y el contenido de agua en hongos (Roy *et al.*, 1993), pero desde entonces muchas otras aplicaciones han seguido. Como la propagación de la radiación NIR en el tejido de la fruta y verdura es afectada por su microestructura, pronto se descubrió que podía utilizarse también para medir atributos como rigidez (Lammertyn *et al.*, 1998), daños internos (Clark *et al.*, 2003a, b) y atributos sensoriales (Mehinagic *et al.*, 2004). Recientes desarrollos amplían el potencial de la espectroscopía NIR que incluyen técnicas multi e hiperespectrales, que también proporcionan información especial (Martinsen y Schaare, 1998; Lu, 2003).

La creciente importancia de la espectroscopía NIR en la tecnología de poscosecha es evidente desde el reciente aumento en el número de publicaciones (Fig. 1, anexo), así como del hecho de que muchos fabricantes de líneas de clasificación ya han implementado sistemas NIR para medir diversos atributos de calidad.

Grafica 5. Número de artículos que implican el uso de espectrómetros NIR portátiles de la industria agroalimentaria desde el año 2003



Fuente: SIAP-SAGARPA.



2.10.1. Quimiometría

El agua es el componente químico más importante de la mayoría de frutas y verduras. Como el agua absorbe altamente cerca de la radiación infrarroja, el espectro de infrarrojo cercano de frutas y verduras está dominada por el agua. Además, el espectro infrarrojo cercano se compone esencialmente de un gran conjunto de sobre-tonos y bandas de combinación. Esto, en combinación con la composición química compleja de una fruta o verdura hace que el espectro infrarrojo cercano a ser altamente enrollada. Finalmente, el espectro se puede complicar más por efectos de dispersión dependiente de la longitud de onda, heterogeneidades de tejido, ruido instrumental, efectos de ambiente y otras fuentes de variabilidad. Como una consecuencia, es difícil asignar bandas de absorción específica a grupos funcionales específicos por no hablar de componentes químicos. Por lo tanto se requieren técnicas estadísticas multivariantes (también llamadas Quimiometría) para extraer la información sobre los atributos de calidad que se encuentran en el espectro NIR. Esencialmente se trata de técnicas de regresión hibridadas al procesamiento espectral (Geladi y Dabakk, 1995).

2.10.1.1. Técnicas de pre-procesamiento espectral

Se utilizan técnicas de pre-procesamiento espectrales para eliminar cualquier información irrelevante que no pueda ser manejado correctamente por las técnicas de regresión. Para ello han desarrollado varios métodos de pre-procesamiento:

-Promedio

Un promedio de más espectros se realiza generalmente durante la adquisición del espectro para reducir el ruido térmico del detector. Espectrofotómetros modernos suelen tener una resolución óptica más allá de 10 nm, mientras que una resolución de 10 nm a menudo es suficiente para la mayoría de aplicaciones. Además, la mayoría de los espectrofotómetros proporcionan una mejor resolución espectral (a menudo 1-2 nm) que la resolución óptica



real; mientras que esto ciertamente aumenta el tiempo de procesamiento estadístico que no mejora el contenido de información de los espectros.

-Centrado

La primera etapa de un tratamiento previo suele restar el promedio de cada variable. Esta operación se llama centrado medio y asegura que todos los resultados sean interpretables en términos de variación alrededor de la media. Se recomienda para todas las aplicaciones prácticas.

-Suavizado

Se han propuesto varias técnicas de suavizado para eliminar el ruido aleatorio a partir de espectros de infrarrojo cercano, incluyendo el uso de filtros promedio y el algoritmo de Savitzky-Golay (Naes *et al.*, 2004).

-Normalización

Significa dividir el espectro en cada longitud de onda por la desviación estándar del espectro a esa longitud de onda. Por lo general las varianzas de todas las longitudes de onda son estandarizada a 1, que se traduce en una influencia igual de las variables en el modelo, pero también son posibles otros procedimientos de normalización (Naes *et al.*, 2004). Aunque la normalización se utiliza comúnmente cuando las variables se miden en diferentes unidades o tienen diferentes rangos, hay que evitarla en la espectroscopia NIR ya que el ruido en una variable con una pequeña desviación estándar puede estallar, y, por lo tanto, puede resultar en un modelo menos fiable.

Mientras la mayoría de los paquetes software de quimiometría ofrecen varios métodos de normalización, la corrección de dispersión múltiple (MSC) es la técnica más popular de normalización (Næs *et al.*, 2004). Se utiliza para compensar efectos multiplicativos (inclinación) en los datos espectrales, que son inducidos por efectos físicos, tales como la dispersión no uniforme en todo el espectro como el grado de dispersión depende de la longitud de onda de la radiación, el tamaño de partícula y el índice de refracción y aditivo (cambio de línea de base).



-Transformación

La derivación se utiliza a menudo para eliminar los cambios de línea de base y los picos superpuestos. La transformación de Kubelka-Munck $(1 - R_2) / 2R$ da cuenta de la dispersión, pero para las medidas de reflexión difusa de los productos agrícolas $\log(1/R)$ ha demostrado ser más adecuados (Griffiths, 1995). En general, no parece ser una gran ventaja que cualquier método de transformación en comparación con los espectros no transformados (Nicolaï *et al.*, 2006a).

2.10.1.2. Técnicas de regresión lineal

Las técnicas de regresión multivariantes tienen como objetivo establecer una relación entre el vector $n \times 1$ de valores de respuesta observados y ('Y-variables, atributos de calidad de interés, como contenido de sólidos solubles totales y firmeza) y $n \times N$ matriz espectral X ('X-variables), con n el número de espectros y N el número de longitudes de onda:

-Regresión lineal múltiple (MLR)

Se aproxima por una combinación lineal de los valores espectrales en cada longitud de onda única. Los N coeficientes de regresión se estiman minimizando el error entre los valores de respuesta predicha y observada en un sentido de mínimos cuadrados.

-Regresión por componentes principales

Es un procedimiento de dos etapas, que primero se descompone la X por un análisis de componentes principales (PCA, en inglés) y luego se ajusta a un modelo de MLR, utilizando un pequeño número de componentes principales (PCs, o variables latentes) en lugar de las variables originales como predictores. La ventaja con respecto a la MLR es que los X variables (PC) no están correlacionados, y que el ruido se filtra.



-Regresión por mínimos cuadrados parciales (PLSR)

Se introdujo casi hace 30 años por Wold. En la regresión PLS una base ortogonal de variables latentes se construye una por una de tal manera que se orientan a lo largo de direcciones de covarianza máxima entre la matriz espectral X y el vector de respuesta Y. De esta manera se garantiza que las variables latentes están clasificadas en función de su relevancia para la predicción de la variable Y. La interpretación de la relación entre los datos de X y Y se simplifica entonces en el menor número posible de variables latentes.

2.10.1.3. Exactitud del modelo

El error de predicción de un modelo de calibración se define como la raíz del error cuadrático medio para la validación cruzada (RMSECV) cuando se utiliza la validación cruzada o la raíz del error cuadrático medio para la predicción (RMSEP) cuando se utiliza la validación interna o externa (Næs y col ., 2004).

$$\text{RMSECV or RMSEP} = \sqrt{\frac{1}{n_p} \sum_{i=1}^{n_p} (\hat{y}_i - y_i)^2}$$

Con n_p el número de objetos validados, y \hat{Y}_i y Y_i el valor pre-predicho y medido de la i ésima observación en el equipo de prueba, respectivamente. Este valor da la incertidumbre media que se puede esperar para las predicciones de muestras futuras. Los resultados de las predicciones futuras con un intervalo de confianza del 95% se pueden expresar como el valor predicho $y_i \pm 1,96 \times \text{RMSEP}$. El número de variables latentes en el modelo de calibración se determina típicamente como que lo que minimiza la RMSECV o RMSEP.



2.10.1.4. Robustez del modelo

Los modelos de calibración se llaman robusta cuando la precisión de la predicción es relativamente insensible a los cambios desconocidas de factores externos. Los principales factores que pueden afectar el modelo son (Wang *et al.*, 1991):

1. El modelo de calibración desarrollado en uno de ellos se transporta a otro instrumento que produce respuestas instrumentales que difieren de las respuestas obtenidas en la primera instrumento;
2. Las respuestas instrumentales medidos en un único instrumento de la deriva debido a las fluctuaciones de temperatura, la deriva electrónica, y los cambios en la longitud de onda del detector o la estabilidad a través del tiempo; y las muestras pertenecen a diferentes lotes.
3. Este último factor es en el caso de NIR espectroscopia de frutas y verduras, probablemente, el más importante, ya que la matriz de la fruta puede estar sujeto a variabilidad dentro del árbol (la edad del árbol, la carga frutal, estimular la edad, la posición dentro del árbol y de la luz efectos), comprendido en la variabilidad del huerto (ubicación del árbol y efectos de luz, características del suelo, la nutrición y las condiciones climáticas), edad de la fruta y variabilidad estacional (Peirs *et al.* 2002b).

2.10.1.5. Transferencia de calibración

Los espectrofotómetros pueden variar tanto en la longitud de onda de calibración y la respuesta fotométrica. Esto es debido a las tolerancias de fabricación, las diferencias en la óptica, detectores y fuentes de luz, cambios en el tiempo en función de la respuesta instrumental y los cambios en el entorno del instrumento a través del tiempo (temperatura, humedad) (Greensill *et al.*, 2001;. Fearn, 2001)



2.11. Usos de la espectroscopía NIR en la agronomía

Algunas de las aplicaciones de la espectroscopía NIR en productos agrícolas se muestran a continuación (Nicolaï *et al.*, 2007):

Producto	Nombre científico	VARIABLES CUANTIFICADAS	Adquisición	Rango (nm)	Referencias
Manzana	(<i>Malus domestica</i> Borkh.)	Materia seca y sólidos solubles totales	Transmitancia	800-1100	Lovasz' <i>et al.</i> (1994)
Plátanos	(<i>Musa acuminata</i> L.)	Azúcares	Reflectancia	400-2500	Tarkosova y Copikova (2000)
Aguacate	(<i>Persea americana</i> Mill.)	Materia seca	Interactancia	300-1140	Clark <i>et al.</i> (2003)
Mango	(<i>Magnifera indica</i> L.)	Materia seca y sólidos solubles totales	Reflectancia	400-2500	Guthrie <i>et al.</i> (2005)
Cítricos	(<i>Citrus x limón</i> (L.) Burm f.)	Acidez	Transmitancia	650-955	Kim <i>et al.</i> (2004)
Tomate	(<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	Materia seca, sólidos solubles totales, licopeno	Reflectancia	500-1000	Khuruyati <i>et al.</i> (2004)
Uva	(<i>Vitis vinífera</i> L.)	Color y pH	Reflectancia	400-1100	Cozzolino <i>et al.</i> (2004)
Ejote	(<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	Pectinas de la pared celular	Reflectancia	1000-2500	Boeriu <i>et al.</i> (1998)
Cebolla	(<i>Allium cepa</i> L.)	Materia seca	Transmitancia	700-1000	Birth <i>et al.</i> (1985)



2.12. Estudios de la espectroscopía NIR en cebollas

Específicamente en el cultivo de cebolla fue donde se hicieron los primeros estudios hortícolas en el que se utilizó espectrometría NIR (Birth *et al.*, 1985), en el que se obtuvo un modelo que cuantifica materia seca en cebollas South White Globe de manera no destructiva. Ya más recientemente, Ito y Morimoto (2014) utilizaron esta tecnología para detectar de manera no destructiva, pardeamiento interno en cebollas variedad Momiji 3. Desafortunadamente sólo existen estos dos trabajos en los que se ha utilizado tecnología NIR no destructiva para detectar algunas características de calidad en cebollas secas y dada la importancia actual de atributos de calidad como el color que brindan los pigmentos, los sst y la concentración de piruvato en cebolla seca, se pretende realizar un estudio en el que se evalúen algunas características de calidad de cebolla mediante el uso de un sensor NIR portátil.

Posteriormente, se realizó una investigación para la cuantificación de compuestos flavonoides en cebollas por medio de reflectancia total atenuada (ATR, en inglés) mediante la espectroscopia de infrarrojo. Se realizó un análisis de quercetinas en las variedades de cebolla blanca, morada y amarilla (Lu, X. *et al.*, 2011).



III. MATERIALES Y MÉTODOS

Se cosecharon 200 unidades de cebolla morada desde la formación de bulbo hasta madurez hortícola. Sembradas en la Empresa Empaque Río Colorado bajo manejo convencional de producción (Smith *et al.*, 2011), posteriormente serán trasladadas para su estudio al laboratorio de Fisiología y Tecnología Poscosecha del ICA-UABC cada 15 días.

Una vez separados los lotes de 50 unidades por fecha de muestreos e índice de madurez, tomando en cuenta el mismo tamaño, forma y libre de defectos aparentes se les obtendrán su espectros NIR mediante el equipo portátil F-750 Produce Quality Meter (Felix Instruments F750[®]; Camas, Washington, USA) previamente calibrado, en un sitio ecuatorial marcado que fueron utilizados para cuantificar pH de manera destructiva.

Para cuantificar el pH se utilizó 10 g de tejido y se homogenizaron en una licuadora comercial Osterizer con 50 mL de agua destilada (pH= 7.0). Posteriormente, el extracto se filtró a través de un colador y se registró el pH.

3.1. Análisis estadístico

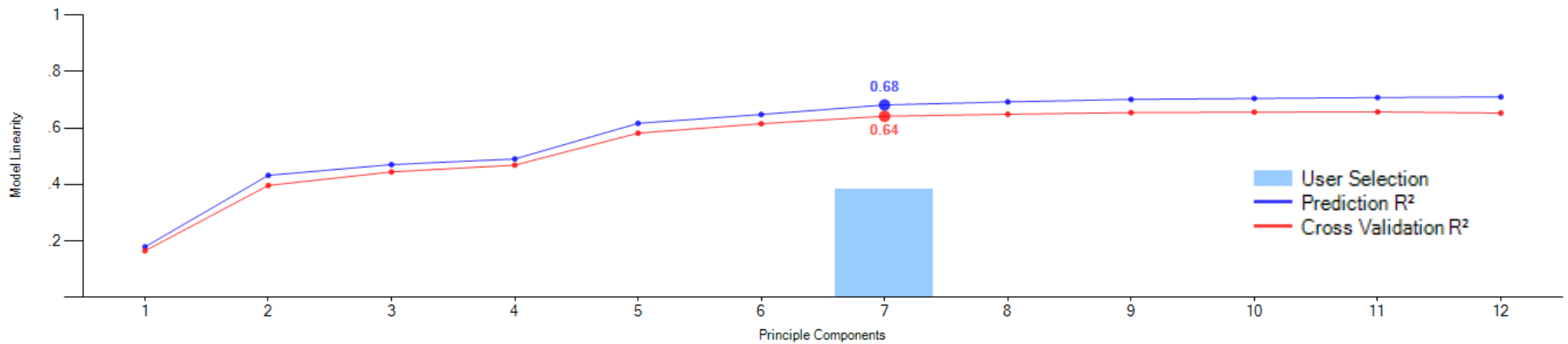
En este estudio la unidad experimental será una cebolla seca con 200 repeticiones para todas las variables analizadas. Se utilizó un diseño completamente al azar. Se aplicó la prueba de Componentes Principales para comparar a los genotipos de manera cualitativa, también se utilizó como pretratamiento de los espectros: suavización por medio del algoritmo de Savitzky-Golay (Naes *et al.*, 2004) y regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS) para obtener los modelos de calibración ya sea del espectro de interactancia y en dado caso, de la primera o segunda derivada (Wold *et al.*, 2001). Se tomará en cuenta la detección de puntos influyentes, precisión y robustez del modelo, así como otras pruebas de calidad de los modelos a obtener. Los programas estadísticos a utilizar serán XL-Stat y Unscrambler.



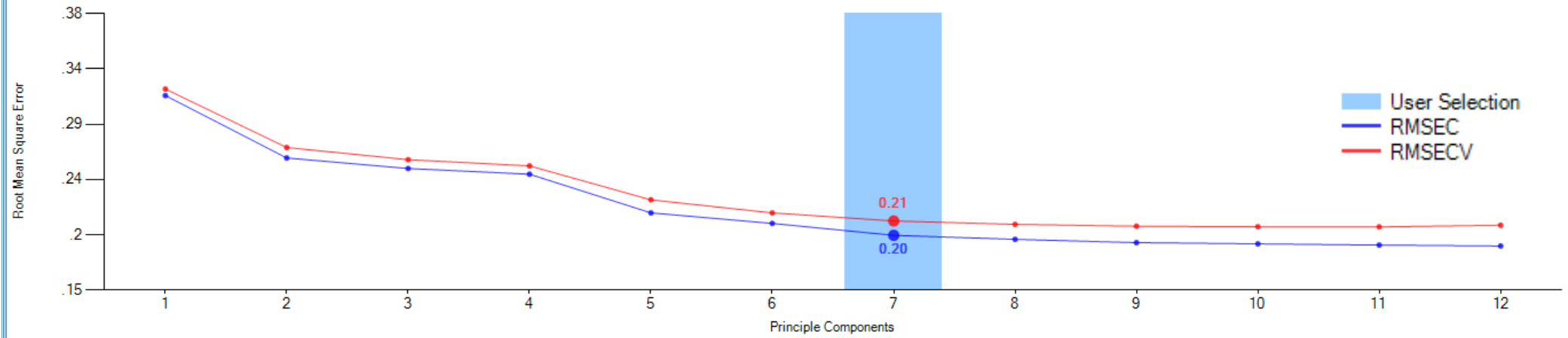
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se generó un modelo para la cuantificación de pH en cebolla morada con un R^2 de 0.68, lo que nos explica que tiene una linealidad pobre, ya que el mínimo aceptable para la utilización de un modelo es de 0.75 (Figura X). Esta linealidad pobre posiblemente se deba a que le falta ajuste al modelo (XXX)

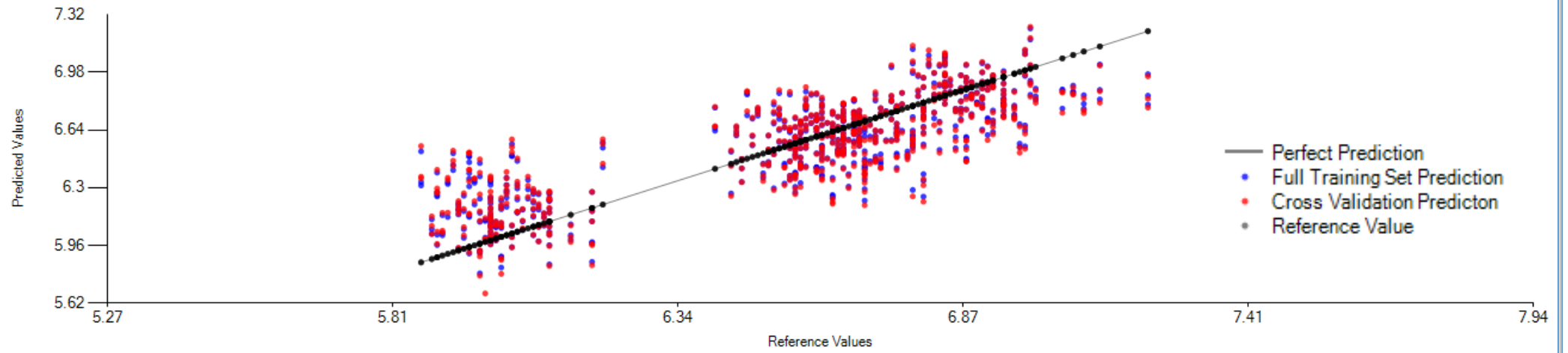
4.1. Coeficiente de determinación



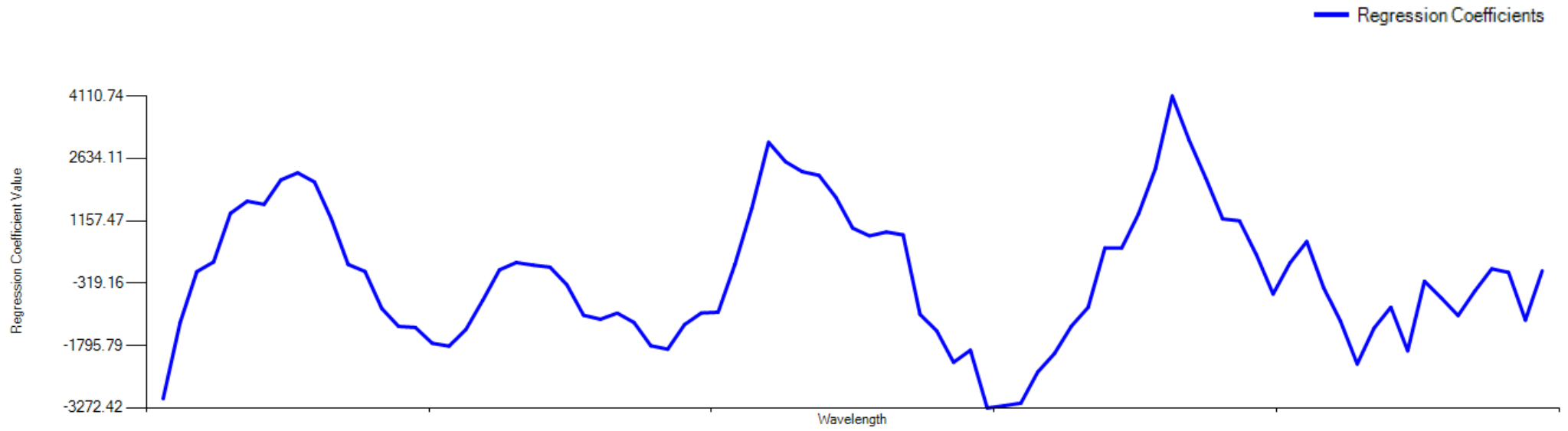
4.2. Raíz del error cuadrático medio para la validación cruzada



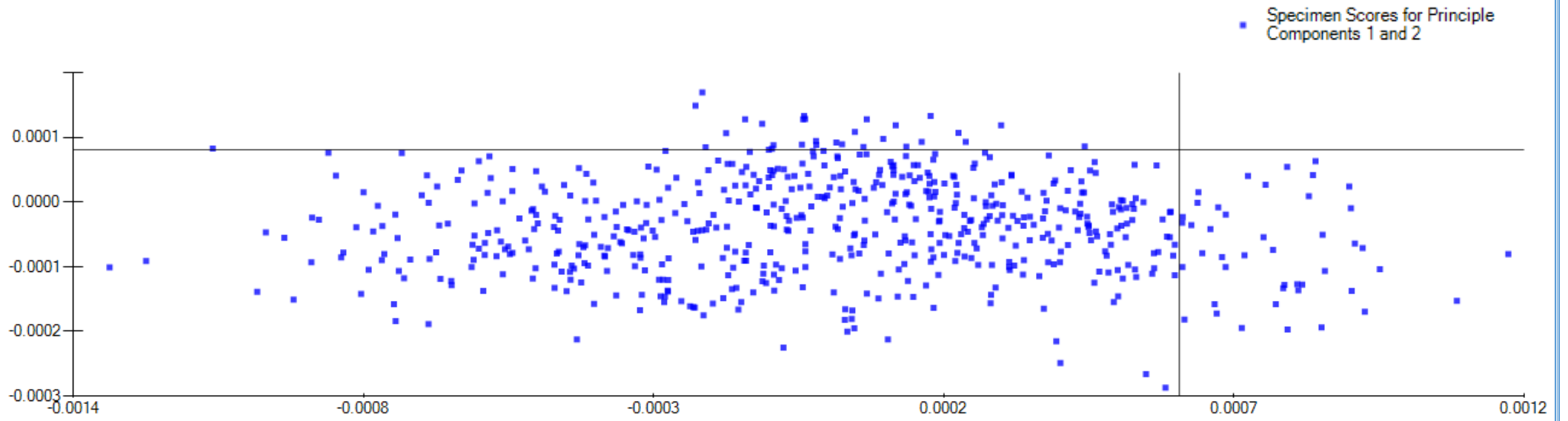
4.3. Modelo de predicción



4.4. Valores de coeficiente de regresión del modelo



4.5. Puntos influyentes



V. CONCLUSIONES

La utilización del sensor NIR portátil para cuantificar pH en cebolla morada obtuvo una respuesta positiva, debido a que se logró generar un modelo de esta variable. Aunque el modelo es pobre se demostró que el equipo en sí, puede cuantificar el contenido de pH en cebolla morada de manera más eficiente con el uso de esta tecnología no destructiva.

VI. RECOMENDACIÓN

Se recomienda a la empresa incorporar un paquete estadístico más amplio para la elaboración y ajustamiento de los modelos de una forma simplificada y variada.



VII. LITERATURA CITADA

- Anónimo. 1959. Glossary of some terms used in the sensory (panel) evaluation of foods and beverages. *Food Technol.* 13: 733-736.
- Anónimo. 2014. Valle de Mexicali factores de éxito en exportación de hortalizas. 2000 Agro Revista Industrial del Campo. Página web revisada el 24 de enero de 2014:<http://www.2000agro.com.mx/agroindustria/valle-de-mexicali-factores-de-exito-en-exportacion-de-hortalizas/>
- Anónimo. 2014. Financiera nacional de desarrollo agropecuario, rural, forestal y pesquero. Secretaria de hacienda y crédito público.
- Anthony G., and D. Barrett. 2003. Modified method for the determination of pyruvic acid with dinitrophenylhydrazine in the assessment of onion pungency. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83:1210-1213.
- AOAC. 1998. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, CD. Washington D.C.
- Augusti KT (1990) Therapeutic and medicinal values of onions and garlic. In: Rabinowitch HD, Brewster JL (eds) *Onions and allied crops*, vol 3. CRC Press, Boca Raton, pp 94-108.
- Barrett, D., J. Beaulieu, and R. Shewfelt. 2010. Color, Flavor, Texture, and Nutritional Quality of Fresh Cut Fruit and Vegetables: Desirable Levels, Instrumental and Sensory Measurement, and the Effects of Processing.
- Bellon-Maurel, V., 1992. Application de la spectroscopie proche infrarouge au contrôle en ligne de la qualité des fruits et légumes. Thèse de doctorat. l'Institut National Polytechnique de Toulouse, France.
- Birth G., G. Dull, W. Renfro and S. Kays. 1985. Nondestructive spectrophotometric determination of dry matter in onions. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 110:297-303.
- Block, E. 1985. Química del ajo y la cebolla. *Investigación y Ciencia*, 103: 86-91.
- Block, E., S. Naganathan, D. Putnam, S. Zhao. 1992. Allium chemistry: HPLC analysis of thiosulfinates from onion, garlic, wild garlic (Ramsoms), leek, scallion, shallot, elephant (great-headed) garlic, chive, and Chinese chive. Uniquely high allyl to methyl ratios in some garlic samples. *J. Agric. Food Chem.* 40:2418–2430.



- Boeriu, C.G., Stolle-Smits, T., van Dijk, C., 1998. Characterisation of cell wall pectins by near infrared spectroscopy. *J. Near Infrared Spectrosc.* 6, A299–A301.
- Bourne, M.C. 1982. *Food Texture and Viscosity*, 1st edition. Academic Press, New York.
- Bozin, B., Mimica-Dukić, N., Samojlik, I., Goran, A & Igic, R. 2008. Phenolics as antioxidants in garlic (*Allium sativum* L., Alliaceae). *Food Chemistry*, 111: 925-929.
- B.G. Osborne, T. Fearn, P.H. Hindle, *Practical NIR Spectroscopy*, Longman, Harlow, 49–78, 1993.
- Cabeza Herrera, E. A., Zumalacárregui Rodríguez, J. M., Fernández Trabanco, B & Mateo Oyagüe, J. 2006. Propiedades de la cebolla y su uso para la elaboración de morcillas. Asociación de Científicos y Tecnólogos de Castilla y León ACTA, León.
- Cao, G., Sofic, E. & Prior, R.L. 1996. Antioxidant capacity of tea and common vegetables. *Journal Agriculture Food Chemistry*, 44: 3426-3431.
- Clark, C.J., McGlone, V.A., Requejo, C., White, A., Woolf, A.B., 2003b. Dry matter determination in 'Hass' avocado by NIR spectroscopy. *Biol. Technol.* 29, 300–307.
- Craig WJ (1997) Phytochemicals: guardians of our health. *J Am Diet Assoc* 97:S199-S204.
- Cozzolino, D., Esler, M.B., Damberg, R.G., Cynkar, W.U., Boehm, D.R., Francis, I.L., Gishen, M., 2004. Prediction of colour and pH in grapes using a diode array spectrophotometer (400–1100 nm). *J. Near Infrared Spectrosc.* 12, 105–111.
- Cubeddu, R., Pfifferi, P., Taroni, P., Valentini, G., Torricelli, A., Valero, C., Ruiz-Altisent, M., Ortiz, C., 2001. Nondestructive quantification of chemical and physical properties of fruits by time-resolved reflectance spectroscopy in the wavelength range 650–1000 nm. *Appl. Opt.* 40, 538–543.
- Davies, A.M., Grant, A., 1987. Review: near-infra-red analysis of food. *Int. J. Food Sci. Technol.* 22, 191–207.
- EDA (Entrenamiento y Desarrollo de Agricultores). 2007. Boletín técnico de poscosecha: manejo poscosecha de cebolla.
- Eder, R. 1996. Pigments. In: *Handbook of Food Analysis*, Nollet, L. M. L. (ed.). Marcel Dekker, New York, USA. 973-1014 pp.



- Farr DR (1997) Functional foods. *Cancer Lett* 114:59-63.
- Fritsch, R.M. and Friesen, N. (2002) Evolution, domestication and taxonomy. In: Rabinowitch, H.D. and Currah, L. (eds) *Allium Crop Science: Recent Advances*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 5–30.
- Fritsch, R.M.; N. Friesen (2002). «Chapter 1: Evolution, Domestication, and Taxonomy». En H.D. Rabinowitch and L. Currah. *Allium Crop Science: Recent Advances*. Wallingford, UK: CABI Publishing. pp. 9–10.
- Guthrie, J.A., Walsh, K.B., Reid, D.J., Liebenberg, C.J., 2005a. Assessment of internal quality attributes of mandarin fruit I. NIR calibration model development. *Aust. J. Agric. Res.* 56, 405–416.
- Gubb, I., and H. MacTavish. 2002. Onion pre- and postharvest considerations. *In: Allium crop science*. Rabinowith H., and L. Curra (eds.). CABI Publishing UK. pp. 233-265.
- Gunasekaran, S., Irudayaraj, J., 2001. Optical methods: visible NIR and FTIR spectroscopy. In: *Nondestructive Food Evaluation. Techniques to Analyse Properties and Quality*. Marcel Dekker Inc., New York, USA.
- Hanelt, P. (1990) Taxonomy, evolution and history. In: Rabinowitch, H.D. and Brewster, J.L. (eds) *Onions and Allied Crops*, Vol. 1. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 1–26.
- Hsieh, C., Lee, Y., 2005. Applied visible/near-infrared spectroscopy on detecting the sugar content and hardness of pearl guava. *Trans. ASAE* 21, 1039– 1046.
- Infoagro, 2016. El cultivo de cebolla. Página web consultada el 24/02/2016. <http://www.infoagro.com/hortalizas/cebolla.htm>
- Ito H, and S. Morimoto. 2014. Non-destructive detection of browning of the inner scales of onions using near-infrared spectroscopy. *Naro* 13:49-53.
- Kannangara C., and M. Hansson. 1998. Arrest of Chlorophyll Accumulation Prior to Anthocyanin Formation in *Euphorbia Pulcherrima*. *Plant Physiol. Biochem.* 36:843-848.
- Khuriyati, N., Matsuoka, T., Kawano, S., 2004. Precise near infrared spectral acquisition of intact tomatoes in interactance mode. *J. Near Infrared Spectrosc.* 12, 391–395.
- Kim, G., Lee, K., Choi, K., Son, J., Choi, D., Kang, S., 2004. Defect and ripeness inspection of citrus using NIR transmission spectrum. *Key Eng. Mater.* 270–273, 1008–1013.



- Kramer, A. 1965. Evaluation of Quality of Fruits and Vegetables. In: Food Quality.
- Lammertyn, J., Nicolaï, B., Ooms, K., De Smedt, V., De Baerdemaeker, J., 1998. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids, and firmness of Jonagold apples using NIR spectroscopy. *Trans. ASAE* 41, 1089–1094.
- Little A. 1975. Off on a Tangent. A Research Note. *Journal of Food Science*. Vol. 40:410-411.
- Lombard, K., E. Geoffriau, and E. Peffley. 2002. Flavonoid Quantification in Onion by Spectrophotometric and High Performance Liquid Chromatography Analysis. *HortScience* 37:682-685.
- Lovasz, T., Meresz, P., Salgo, A., 1994. Application of near infrared transmission spectroscopy for the determination of some quality parameters of apples. *J. Near Infrared Spectrosc.* 2, 213–221.
- Lu, X., C. Ross, J. Powers and B. Rasco. 2011. Determination of Quercetins in Onion (*Allium cepa*) Using Infrared Spectroscopy. *Journal of Agricultural and food chemistry* 59: 6376-6382.
- Martinsen, P., Schaare, P., 1998. Measuring soluble solids distribution in kiwifruit using near-infrared imaging spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* 14, 271–281.
- Mehinagic, E., Royer, G., Symoneaux, R., Bertrand, D., Jourjon, F., 2004. Prediction of the sensory quality of apples by physical measurements. *Postharvest Biol. Technol.* 34, 257–269.
- Milner JA (1998) Do Functional Foods offer opportunities to optimize nutrition and health 52:24.
- Mitcham, B., M. Cantwell, and A. Kader. 1996. Methods for Determining Quality of Fresh Commodities. *Perishables Handling Quarterly* No. 85. Division of Agricultural and Natural Resources, University of California.
- Muñoz Quezada, S., Gómez Llorente, C. & Gil Hernández, A. (2010). Compuestos bioactivos de los alimentos de origen vegetal y obesidad. *Nutrición Clínica en Medicina*, 4(3):138-152.
- Naes T., T. Isaksson, T. Fearn, and T. Davies. 2004. A user-friendly guide to multivariate calibration and classification. NIR publications, Charlton, Chichester, UK.



- Nicolaï B., K. Beullens, E. Bobelyn, A. Peirs, W. Saeys, K. Theron and J. Lammertyn. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology* 46:99-118.
- Nieuwhof M., J. De Bruyn and F. Garretsen. 1973. Methods to determine solidity and dry matter content of onions (*Allium cepa* L.). *Euphytica* 22:39-47.
- Norris, K.H., 1964. Design and development of a new moisture meter. *Agric. Eng.* 45, 370.
- Pak, C., L. van der Plas, and A. de Boer. 1995. Importance of dormancy and sink strength in sprouting of onions (*Allium cepa*) during storage. *Physiologia Plantarum* 94:277–283.
- Price, K.R. and M. Rhodes. 1996. Analysis of the major flavonol glycosides present in four varieties of onion (*Allium cepa*) and changes in composition resulting from autolysis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 74:331–339.
- Rodríguez Galdón, B., Tascón Rodríguez, C., Rodríguez Rodríguez, E.M. & Díaz Romero, C. 2009. Fructans and major compounds in onion cultivars (*Allium cepa*). *Journal Food Composition Análisis*, 22(1): 25-32.
- Roy, S., Anantheswaran, R., Shenk, J., Westerhaus, M.O., Beelman, R., 1993. Determination of moisture content of mushrooms by VIS-NIR-spectroscopy. *J. Sci. Food Agric.* 63, 355–360.
- Sainani GS, Deasi DB, More KN (1976) Onion, garlic, and arteriosclerosis. *Lancet* 2:575-576.
- Salama, A.M., J. Hicks, and J. Nock. 1990. Sugar and organic acid changes in stored onion bulbs treated with maleic hydrazide. *HortScience*. 25:1625–1628.
- Smith R., A. Biscaro, M. Cahn, O. Daugovish, E. Natwick, J. Nuñez, E. Takele and T. Turini. 2011. Fresh Market Bulb Onion Production in California. Agriculture and Natural Resources. University of California. Publication 7242.
- Tarkosova, J., Copikova, J., 2000. Determination of carbohydrate content in bananas during ripening and storage by near infrared spectroscopy. *J. Near Infrared Spectrosc.* 8, 21–26.



Torija Isasa, M^a. E. 2011. Fibra dietética y salud Concepto y composición de la obra dietética. Los alimentos como fuente de fibra. Cátedra Kellogg's. Alimentando el conocimiento. I, 1.

Uribe F. 2010. Producción de cebolla en México. Revista Productores de Hortalizas. Página web revisada el 25 de junio de 2015:
<http://www.hortalizas.com/poscosecha-y-mercados/produccion-de-cebolla-en-mexico/>

Wall M. and J. Corgan. 1992. Relationship between pyruvate analysis and flavor perception for onion pungency determination. HortScience 27:1029-1030.

Wold S., M. Sjöström, and L. Eriksson. 2001. PLS-regression: a basic tool of chemometrics. Chemom. Intell. Lab. Sys. 58:109-130.



Anexos

Producción de cebolla en México

Año	Superficie (Miles ha)		Volumen de producción (Miles ton)	Rendimiento (Ton/ha)	Precio medio rural (\$/Ton)	Valor de producción (Mdp)
	Sembrada	cosecha				
2000	49.7	48.6	1,002.5	20.6	1,870.1	1,874.7
2001	55.4	53.0	1,157.0	21.8	2,386.5	2,761.2
2002	50.6	50.3	1,199.0	23.9	2,844.0	3,410.0
2003	51.5	49.2	1,256.4	25.6	2,917.3	3,665.5
2004	52.3	51.5	1,341.8	26.1	2,635.8	3,536.6
2005	47.0	46.4	1,230.9	26.5	3,090.8	3,804.5
2006	46.8	45.7	1,238.2	27.1	2,895.1	3,584.8
2007	48.7	48.1	1,387.2	28.8	3,079.8	4,272.3
2008	43.6	42.8	1,246.2	29.1	3,737.7	4,657.9
2009	42.8	41.7	1,195.8	28.7	3,072.2	3,673.8
2010	45.1	44.8	1,266.2	28.2	4,181.1	5,294.0
2011	48.6	47.1	1,398.9	29.7	3,264.4	4,566.4
2012	44.4	42.6	1,238.6	29.1	3,405.5	4,218.1
2013	43.8	43.2	1,266.5	29.3	N/D	N/D
2014	48.0	46.9	1,407.9	30.0	N/D	N/D



Anexo estadístico

Producción nacional de cebolla por entidad en 2012

Estados	Volumen		Valor	
	Miles de ton	Participación	Mdp	Participación
Chihuahua	206.0	16.6%	451.6	10.7%
Baja California	166.9	13.5%	1,075.4	25.5%
Zacatecas	162.2	13.1%	276.6	6.6%
Michoacán	155.1	12.5%	393.0	9.3%
Tamaulipas	103.6	8.4%	412.4	9.8%
Resto del país	444.7	35.9%	1,609.0	38.1%
Total Nacional	1,238.6	100.0%	4,218.1	100.0%

Precio al mayoreo de la cebolla en México (\$/Kg)

	Cebolla Bola	Cebolla de Rabo
2011	3.7	6.1
2012	4.9	6.1
1T 2013	9.0	8.5
2T 2013	4.3	7.2
3T 2013	6.6	6.4
4T 2013	13.3	7.5
2013	8.3	7.4
1T 2014	13.8	6.7
2T 2014	4.8	6.8

Fuente: SIAP-SAGARPA. /p Cifras preliminares /e Cifras estimadas



Anexo estadístico

Producción de cebolla por variedad en 2012

Año	Superficie (miles ha)		Volumen de producción (miles ton)	Rendimien to (ton/ha)	Precio medio rural (\$/ton)	Valor producción (mdp)
	Sembrada	Cosechada				
Cebolla blanca	34.9	33.9	1,101.8	32.5	2,774.3	3,056.7
Cebolla amarilla	1.2	0.8	19.2	24.3	3,590.0	69.0
Cebolla morada	1.0	0.7	16.8	24.0	3,698.6	62.1
Cebolla cambray	0.2	0.2	3.7	21.3	2,727.1	10.2
Cebolla sin clasificar	0.1	0.1	3.6	30.9	2,836.1	10.3
Cebollín	7.0	6.9	93.4	13.6	10,810.6	1,009.7
Total	44.4	42.6	1,238.6	29.1	3,405.5	4,218.1

Fuente: SIAP-SAGARPA.



