



# **BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**ESTUDIO COMPARATIVO EN CRECIMIENTO DE CUATRO  
CULTIVARES DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea*)  
CONDUCTOS EN TEZONTLE ROJO A TRAVÉS DE  
ALTURAS, ÁREA FOLIAR Y PARÁMETROS  
PRODUCTIVOS EN INVERNADERO**

Tesis que para obtener el título de  
LICENCIADA EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

SARAI CONTRERAS BRAVO

DIRECTOR: M. C. ROGELIO VÁZQUEZ RAMÍREZ



Abril 2018

## **Agradecimientos**

A mi Padre celestial por la oportunidad de venir a la tierra y gozar de experiencias tan maravillosas al obtener logros mediante el esfuerzo

A cada uno de los integrantes que conforman la línea de Fitotecnia del Departamento de Investigación de Ciencias Agrícolas por el apoyo brindado a los largo de este trabajo.

A mis profesores de la Facultad de Biología por formar un carácter de conocimiento y experiencias satisfactorias que permiten encaminarnos como parte de nuestra vida hacia el éxito.

Al profesor M. en C. Rogelio Vázquez Ramírez por su gran confianza y apoyo en este el término de mi etapa como bióloga pero el comienzo de otras oportunidades académicas como parte de mi formación.

A la Dra. Susana Soto del ICUAP junto el cuerpo de estudiantes a su cargo del área de dispositivos en Semiconductores por el automatizado de las Instalaciones del Invernadero haciendo más factible y eficaz el trabajo.

A mis amigos y compañeros del área de fitotecnia: Julio, Alfredo, Adriana, Flor, Fernando, Hadid, Sergio, Gina, Aurelio y Mario por su paciencia, ejemplo y valiosas enseñanzas.

## **Dedicatorias**

A mis padres, por su gran espera y paciencia al ver los logros de cada uno de sus hijos y en especial estar pendiente y al tanto de nuestra formación.

A Carlos y Nallely por sus consejos, cariño y buen ánimo.

A karlita, José de Jesús y Fabián porque a través de sus miradas veo los mejores logros y esperanza de una vida mejor.

Cuando inicié la licenciatura no imaginé terminaría mis estudios de licenciatura con mis peques, que puedo decir ¡ellos han crecido y yo también!

A mis profesores, por el ejemplo de admiración, devoción y respeto hacia los seres vivos como parte de nuestro entorno.

A mis queridos compañeros y amigos de la licenciatura, como también los del plan minerva con los que concluí este trabajo de tesis.

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
ANTECEDENTES .....	3
Clasificación y características botánica.....	5
Parámetros biológicos.....	7
Parámetro: Área foliar .....	8
A.    Métodos en la determinación de área foliar.....	9
B.    Medición indirecta a través de métodos no destructivos .....	13
Análisis de crecimiento en plantas a partir de ecuaciones matemáticas.....	15
Parámetros agronómicos.....	21
Peso fresco y Seco.....	24
Producción y Rendimiento.....	26
OBJETIVOS .....	35
Objetivo general .....	35
Objetivos particulares .....	35
HIPÓTESIS .....	36
MATERIAL Y MÉTODOS.....	37
RESULTADOS.....	40
C.    41	
Cuadro 4. Promedios en área foliar para los cuatro cultivares de brócoli cada semana.....	42
D.    Análisis de varianza para alturas.....	44
E.    Análisis de varianza para área foliar .....	46
F.    Resultados de parámetros productivos.....	46
G.    48	

H.	Análisis de varianza en peso fresco raíz.....	51
	Resultados en peso seco para raíz, tallo, hoja y pella en los cuatro cultivares.....	53
I.	Resultado Estadístico de peso seco por órganos. ....	54
DISCUSION.....		76
	Relación peso fresco y peso seco total.....	78
	Relación de cultivares por órganos.....	79
	Rendimientos y producción. ....	81
	Resultados estadísticos de pesos secos de cada órgano para los cuatro cultivares. ....	82
CONCLUSIÓN.....		84
ANEXOS.....		86
BIBLIOGRAFÍA.....		87

## RESUMEN

En este trabajo se pretendió conducir un ensayo que permitió principalmente caracterizar el crecimiento de una planta (*Brassica oleracea var. Itálica*) y realizar un estudio comparativo de 4 cultivares de la misma especie mediante los parámetros de alturas y de área foliar en función de una misma cantidad de agua y una misma solución nutritiva en cultivo desarrollado en Tezontle rojo. La diferencia de este trabajo con otros estriba en que las condiciones controladas bajo las que se conduce el ensayo permiten conocer las características de crecimiento de cada cultivar gracias a que los tiempos de medición propuestos para este trabajo son más cortos que en trabajos similares, logrando obtener curvas de crecimiento parecidas a las de cualquier planta.

Beberly *et al*, 1986 describe un crecimiento sigmoideal se da a través de la variabilidad tanto en la producción total de biomasa como el tipo de crecimiento puede ser debido a aspectos varietales (Rincon, Saez, Perez Crespo, Gomez Lopez, & Pellicer, 1999). Por lo tanto conocer las diferencias entre los cultivares a través de las mediciones realizadas en altura, área foliar, peso fresco, peso seco, productividad y rendimiento de cuatro cultivares de brócoli.

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las plantas, la acumulación de materia seca y en consecuencia, el rendimiento final de los cultivos es el resultado de la asimilación neta de CO<sub>2</sub> durante su ciclo vegetativo, dependiendo de la energía de la radiación luminosa absorbida y de la eficacia en su utilización por parte de la planta, (Legoburgo Serra, 2005) a través de la relación entre cuatro cultivares de brócoli (*Brassica oleracea*, var. *Itálica*).

Al considerar para su estudio medido a través de la alturas y el área foliar como parámetros biológicos imprescindibles dentro de los procesos de crecimiento y desarrollo de los cultivares, al estimar las diferencias durante el desarrollo y crecimiento en cuatro cultivares de brócoli, hasta la etapa final, obteniendo el órgano de interés productivo, como parte de la agricultura actual al considerar la mejor propuesta de variedad bajo condiciones de invernadero y sustrato de tezontle rojo sobre diversos fenómenos biológicos y agronómicos.

Los parámetros productivos establecidos como los pesos frescos nos permite conocer la capacidad de absorción y nutrición cada órgano de la planta de brócoli estableciendo la cantidad de humedad al comparar el efecto en los cuatro cultivares; por otra parte la finalidad de medir pesos secos también nos indica la relación que pueda existir entre cultivares al perder la cantidad de agua absorbida, interpretando las diferencias que existen al perder agua cada órgano comprendido.

Con esto podemos proponer la eficacia entre la variabilidad de aspectos varietales, es decir aspectos genéticos, climatológicos y condiciones de invernadero a las que están sometidas al mostrar características propias de cada cultivar, la relación y comportamiento entre cada uno.

## **ANTECEDENTES**

Origen brócoli es una palabra italiana que proviene del latín brachium que significa rama o brazo, proviniendo del Mediterráneo y Asia menor, Libano y Siria. Su presencia en Italia demuestra ser un cultivo muy popular, siendo el más antiguo que se haya conocido (Krarrup y Seemann, 1990).

En Estado Unidos ha aumentado este cultivo de manera considerable después de su introducción a la zona este, principalmente California, hasta llegar a una cifra estimada de más de 50.000 ha cultivadas, que han transformado a este país en el principal productor y consumidor de brócoli del mundo.

En México la historia del brócoli y empaque de congelados se remonta a partir de 1967, cuando las empresas que deshidrataban se convirtieron en congeladora incluyendo la exportación. Años después algunos horticultores que abastecían de brócoli y esparrago a las transnacionales, al capitalizarse y contar con experiencia en el cultivo decidieron buscar participación en el valor agregado a través de sus propias empacadoras, surgiendo de este modo otras empresas. La producción e industrialización de brócoli, se ubica como eje central en el estado de Guanajuato, siguiendo en orden de importancia Michoacán, Sonora, Jalisco, Puebla y Baja California (Cartagena Yamil, Galvis Arturo, Hernandez Teresa, 2010).

La región de Tecamachalco, es una de las principales zonas productoras de brócoli en el estado de Puebla, en este lugar se encuentran diferentes granjas avícolas, lo que permite que la pollinaza sea un insumo en cantidad y disponibilidad para los agricultores que lo utilizan como fuente orgánica para la fertilización del brócoli y otros cultivos junto con fertilizantes minerales (Arbizu Barrón, Ezequiel yLópez Jiménez; 2014).

La producción de brócoli en la zona de Tepeaca-Tecamachalco se considera una agricultura transicional la cual se caracteriza por tener tendencias hacia la explotación comercial y rasgos de producción campesina (Gonzales,1990).

El sistema de producción del brócoli en la región de Tecamachalco es bajo una agricultura intermedia, la producción es dada por la autogestión de los productores en el sistema de riego y en el uso de abonos orgánicos, así como la participación de los integrantes de la familia en las labores del cultivo (Arbizu Barrón, Ezequiel yLópez Jiménez; 2014).

Desde el punto de vista biológico, nos interesa saber el desempeño de una planta cultivada bajo ciertas condiciones desde que la plantamos y hasta la generación del producto comercial que es de interés agronómico y para el productor; pero especialmente el seguimiento del crecimiento y desarrollo como en este caso que realizamos mediciones de altura y área foliar hasta el momento en que ambos parámetros dejan de crecer es importante, debido a que un trabajo así, nos puede generar un modelo de crecimiento para cada cultivar a las condiciones de un invernadero.

## **Clasificación y características botánica**

El brócoli cuyo nombre científico es *Brassica oleracea var. Itálica* es una de las tres hortalizas más importantes de la familia crucífera junto con el repollo y la coliflor, teniendo los tres requerimientos de cultivo muy similares (Casseres, 1971) originándose a partir de un repollo silvestre mediante selección y mejoramiento (Campusano, 1999).

Es una especie anual, completando su ciclo de vida en una temporada, en la que se desarrolla vegetativamente produciendo flores y semillas.

### **Características**

“Planta dicotiledónea.

Tallo principal relativamente grueso diámetro de 2 a 6 cm.

Tallo corto de 20 a 50cm de longitud (Cartagena Yamil, Galvis Arturo, Hernandez Teresa, 2010)

Hojas glabras color verde oscuro

Son sus hojas laminas alargadas con venas bastantes prominentes

Peciolos cortos donde su superficie está cubierta con una sustancia cerosa, que le da un tono plomizo al follaje.

Sistema radicular pivotante, leñoso y poco profundo.

Como en la mayoría de las crucíferas, se considera de arraigamiento superficial, es tienen la facilidad de enraizamiento por lo que las raíces alcanzan hasta 80cm de profundidad en el perfil del suelo.

Altura 60 a 90cm.

El tallo termina en una inflorescencia que es la parte aprovechable de la planta siendo la inflorescencia un conjunto de primordios florales, fértiles que se encuentran cerradas y agrupadas en una estructura compacta llamada cabeza, pan o pella. (Campusano,1999) Durando solo unos pocos días viéndose la separación de yemas florales y luego el inicio de la polinización cruzada realizada por insectos.

La aparición de las puntas amarillas de los pétalos es cuando la pella pierde compactibilidad y se separa, perdiendo así su valor comercial” (Cartagena Yamil, Galvis Arturo, Hernandez Teresa, 2010).

Dentro del estudio fenológico del cultivo de brócoli tanto para cultivos orgánicos como convencionales la importancia recae en función de la respuesta al comportamiento del manejo; dando a conocer por lo tanto las siguientes fases:

**Vegetativo inicial:** Se llevan a cabo los procesos de producción de biomasa foliar es decir la formación de hojas, altos índices de fotosíntesis y de respiración celular esta etapa debe consolidarse en su totalidad ya que depende que la planta ingrese a posteriores periodos sin perder partes del proceso metabólico (Orellana, H.; Solórzano, H.; Bonilla, A.; Salazar, G.Falconí-Borja, C.; Velasteguí, R. 2008.

**Vegetativo Medio:** es esta fase la biomasa foliar tiene formaciones inductivas para la formación de bases florales donde los primeros eventos de formación los primordios foliares se diferencian metabólicamente porque los fotosintatos producidos por la planta se direccionan a la consolidación de la formación de la pella. (Orellana, H.; Solórzano, H.; Bonilla, A.; Salazar, G.Falconí-Borja, C.; Velasteguí, R. 2008.

**Inducción Floral:** O también conocida como formación inicial de la pella donde se inicia rápidamente la formación de yemas apicales, tanto en puntos de crecimiento apical como en domos laterales de la base del tallo. Ya en esta fase los fotosintatos se direccionan a la formación de bases de sustento para los primordios florales (Orellana, H.; Solórzano, H.; Bonilla, A.; Salazar, G.Falconí-Borja, C.; Velasteguí, R. 2008).

### **Parámetros biológicos.**

Dentro de los parámetros de crecimiento, la medición de alturas de las plantas se ha realizado para comparar los efectos de las dosis de riego o humedades en los cultivos (López-elías, Huez-lópez, Jiménez-león, & Cesar, 2011).

Específicamente para brócoli se ha usado la altura para la comparación de variedades (Vislao, Seleni 2013 ), para la comparación del efecto de dosis de fertilizantes y fitorreguladores (Llerena Vinueza, 2013), estación del año, densidad de siembra en el cultivo de brócoli;(Rosero, 2015);(Fraire Cordero *et al.*, 2010); (El-magd, 2013); para el efecto de la luz led de alta intensidad mediante longitud mayor del hipocótilo, en otros cultivos como col roja los incrementos fueron similares a los reportados por este estudio con el uso de leds super brillantes de color verde con el crecimiento de plántulas adultas se mejora con el uso de luz verde por el contrario la utilización de luz azul en este estudio provocaron que el hipocotilo creciera mucho menos donde a mayor tiempo de exposición menor fue el crecimiento resultados similares se obtuvieron (Shoji *et al.*2010 y Kobayashi *et al.* 2013)donde el incremento de la luz azul disminuyó la longitud del hipocótilo en plántulas de lechuga(Paniagua-Pardo *et al.*, 2015); Al utilizar promotores de oxidación controlada en soluciones ácido salicílico, ácido benzoico y quitosán sobre acelga, coliflor, brócoli y repollo viendo el efecto de éstos compuestos sobre

variables fenotípicas y el nivel de antioxidantes en las hortalizas mencionadas (Sanchez Del castillo *et al*, 2006)). En la respuesta del cultivo de tomate en suelo biofumigado con brócoli , estiércol y acolchado de plástico donde se obtuvieron los mejores resultados de las variables a analizar altura, ancho y peso del tallo (Reséndez, Teresa, Perezgasga, & López, 2005);Para estudiar el efecto de diferentes rangos del espectro sobre crecimiento de plántulas de brócoli utilizando películas plásticas de color amarillo, azul, naranja, transparente y sin cobertura para obtener diferentes espectros mediante la determinación de área foliar, materia seca , la altura y diámetro del tallo como parámetros medibles (Casierra - Posada, Fánor, Rojas B., Javier F, 2009).

El crecimiento vegetativo puede variar ampliamente entre cultivares como lo demuestra un estudio entre dos cultivares de brócoli donde las variables a medir son alturas, entre otras... resultando a través del estadístico que no existe diferencia significativa entre los 2 cultivares para la primer temporada, la diferencia entre cultivares en crecimiento vegetal puede ser debido a la variación genética de los cultivares ya que permite utilizar los recursos naturales con una alta potencialidad para absorber más nutrientes del suelo y mayor superficie fotosintética (A. El-magd, Zaki, y Sedera, 2013).

### **Parámetro: Área foliar**

Las hojas de las plantas en general, son los principales protagonistas, cuando son los únicos de numerosas funciones vitales para su crecimiento y desarrollo, como la intercepción de la radiación, la fotosíntesis, la transpiración, la respiración, la foto respiración y la translocación de productos foto asimilados. De la radiación solar el 50% es potencialmente utilizable por las plantas (Martínez de Toda, 1991 y Barcelo *et al.*, 1992) porción denominada radiación fotosintéticamente activa (RFA) y que corresponde con la radiación visible de longitud de onda comprendida

entre 400 y 700nm, de la cual una hoja puede absorber alrededor del 85% según su estructura, reflejando o difundiendo el resto, ésta radiación solar difundida por la superficie de una planta en un día, entre el 75% y el 85%, se emplea en vapor de agua, un 5 a 10% se almacena como calor sensible en el suelo, un 5-10% se usa en intercambios de calor sensible con la atmosfera por procesos de convección y el restante 1 al 5 % se utiliza en la fotosíntesis (Barcelo 1992). Si ningún otro factor actúa como limitante, a medida que aumenta la intensidad luminosa aumenta la tasa de fotosíntesis hasta la saturación que varía según las especies, no obstante una intensidad luminosa muy alta, la fotosíntesis puede ser inhibida, por el cierre de estomas debido al aumento de la transpiración por una respiración acelerada o por la foto- respiración del aparato fotosintético(Legoburgo Serra, 2005).

El área foliar es considerada una medición importante dentro del cultivo en el estudio plantas ya que las hojas son los principales órganos encargados de la intercepción luminosa y de la fotosíntesis, también son las responsables del crecimiento de éstos y de los demás órganos de todas las plantas superiores; Nava *et al*, consideran que "uno de los tópicos más importantes para medir el rendimiento de una planta y de un cultivo a considerar es la producción fotosintética por lo tanto es el resultado de la actividad de la superficie foliar; siendo una de las mejores medidas del capital productivo de la planta: el área de las hojas" (Nava et al., 2014).

#### **A. Métodos en la determinación de área foliar**

Dentro de las mediciones en estudios de ecofisiología, es comúnmente útil el área foliar, ya que existe una relación entre la estimación del área foliar y la producción de rendimiento. Para su determinación se utilizan diferentes métodos ya sean destructivos, no destructivos o indirectos, "La estimación del área foliar es una

importante observación biométrica que debe hacerse con el propósito de comparar el comportamiento de los vegetales en función de diferentes tratamientos” (Casierra-posada, Zapata-casierra, & Cutler, 2017).

La estimación del área foliar a partir de la medida directa de las dimensiones de los órganos implicados (especialmente el largo y ancho de las hojas) tiene aún hoy aplicabilidad (Garcés & Forcelini, 2011).

“Los métodos indirectos emplean alguna propiedad variable de la hoja que se puede medir y que está correlacionada con el área foliar, todos ellos precisan de menos tiempo y trabajo que los directos, requiriendo en muchos casos mediciones de la hoja en laboratorio siendo destruidas las hojas para su estudio (método de intercepción de luz, método de intercepción de una corriente de aire, método del spray acuoso, método de estimación, métodos de estimación basados en medidas lineales de la hoja, métodos basados en la relación entre el área foliar y el peso de la hoja” (legorburo serra, 2005).

Francescangeli en 2007 determina los efectos del sombreado sobre el crecimiento, desarrollo, acumulación de materia seca, usando el híbrido Legacy en macetas a condiciones de invernadero con mallas de sombreado, notando que a mayor sombreado aumentó la duración del ciclo y del área foliar. Por los resultados finales, la autora concluye que el brócoli es una planta tolerante al sombreado. Para determinar los efectos del sombreado sobre el crecimiento, el desarrollo, la partición de materia seca y la arquitectura de la planta de brócoli se cultivaron plantas del híbrido ‘Legacy’ en macetas, en un invernadero con mallas de sombreado para generar diferentes niveles de radiación fotosintéticamente activa (PAR). El promedio de PAR incidente fue 23 mol PPF m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> (testigo), 15,2 (malla del 35%) y 6,7 (malla del 70%).

Las temperaturas estuvieron dentro del rango 15-22°C. A mayor sombreado, aumentó la duración del ciclo y el área foliar (LA). El sombreado no afectó al número de hojas, pero las superiores adoptaron una posición más erecta. La longitud del tallo y la PAR interceptada acumulada (IPAR) se relacionaron negativamente. El diámetro de la inflorescencia y el peso fresco comercial sólo disminuyeron con la malla del 70%. El sombreado no afectó al peso seco (DW) del tallo, pero alteró la distribución de materia seca entre raíces y pella. Las hojas mantuvieron una proporción promedio del 45,7% del DW total, a pesar de la mayor LA desarrollada con el sombreado. Con la disminución de la IPAR, la tasa de asimilación neta disminuyó y la tasa de área foliar aumentó: este comportamiento compensatorio mantuvo la tasa de crecimiento relativo de toda la planta prácticamente constante. Con el incremento del sombreado, las hojas y el tallo fueron los destinos dominantes. Con 15,2 mol PPF m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, el peso comercial fue equivalente al obtenido con 23 mol PPFm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, pero el ciclo se extendió en 4,5 días. Con 6,7 mol PPF m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, el rendimiento disminuyó debido al menor DW producido en un ciclo 15 días más largo, y a que la planta alojó más materia seca en el tallo que en la pella. Estos resultados indican que puede considerarse al brócoli como una planta tolerante al sombreado (Francescangeli, Sangiacomo, & Martí, 2007).

Para evaluar el nivel suficiente de Nitrógeno a partir del tejido vegetal en un cultivo de brócoli, es importante considerar en el estudio la reflectancia de hoja recientemente madura, mediciones a partir de la cuarta a la doceava hoja, etapa de desarrollo del florete y de pre cosecha junto con la valoración del extracto celular a partir de niveles de concentración de nitrógeno asume que dichas variables a través del estudio vegetal tiene una alta correlación respecto de la reflectancia (Libutti & Monteleone, 2017).

Dentro del manejo de sistemas hidropónicos en (Nutrient Film Technique), se evalúan durante dos ciclos de producción y dos variedades de lechuga verificando el desempeño bajo la tecnología hidropónica NFT; a los 63 días después de la siembra trasplante (dds) se tomaron mediciones de área foliar aproximada (utilizando el ancho y largo con cada hoja) con resultados obtenidos de media total por planta para la variedad Grand rapid con mayores valores ( $4707\text{cm}^2$ / planta vs. 3950 de la variedad Gallega), número de hojas totales por planta y peso fresco (Birgi, 2015).

Con el interés de que los productores incrementen sus rendimientos Casierra-Posada *et al*, evalúan el efecto de diferentes calidades de luz proporcionadas por películas de cobertura de colores sobre los parámetros básicos del crecimiento, la producción y calidad de la flor en calas (*Zantedeschia aethiopica*), cultivadas bajo invernadero y bajo sistema hidropónico de las hojas, a las cuales se les hacía lectura del área foliar con un medidor Licor 3000 A. los resultados estadísticos muestran diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ), al observar que la cobertura de color verde estimuló el desarrollo de las hojas, cuya área fue 13,64% mayor que la de las plantas control sin cobertura. Por otro lado, las coberturas de colores transparente, azul, amarillo y rojo indujeron una reducción del área foliar, en términos de 21.02; 45,25; 40.37 y 23.42%, respectivamente, en relación con las plantas sin cobertura.(Casierra-Posada, Nieto, & Ulrichs, 2012).

Mompie, al medir hojas en dos variedades de papa callwithe y santana analiza las etapas de crecimiento, estimando la superficie foliar por medio de un integrador AM300, utilizando medidas lineales de las hojas (largo y ancho) a partir de estas variables se establecieron las regresiones lineales correspondientes al área real de cada hoja con cada una de las longitudes obtenidas y el producto de ellas (Mompie, 2014).

Casierra Posada *et al*, miden los diferentes rangos de espectro sobre el crecimiento de las plántulas de brócoli (*Brassica oleracea var. Itálica*) obteniendo el área foliar a través de un analizador foliar Licor 3000A, mostrando que las expuestas a cobertura roja obtuvieron una respuesta positiva al crecimiento, materia seca, diámetro y peso de la pella atribuyéndose a que la longitud de onda selectiva de las coberturas produce un efecto estimulante sobre las plántulas en semillero, proporcionándoles ventajas fitotécnicas mediante la alteración del espectro (Casierra -Posada, Fánor, Rojas B., Javier F, 2009).

## **B. Medición indirecta a través de métodos no destructivos**

La utilización de métodos basados en el análisis de imágenes dispone de la imagen digitalizada de la hoja para posteriormente realizar mediciones sobre ella. Dentro de los sistemas que se han empleado para capturar la imagen evolucionan a lo largo de los tiempos. Desde un circuito cerrado de televisión pasando por cámaras fotográficas analógicas combinado de algún sistema de digitalización de imágenes (Baker, Olszyk, and Tingey, 1996); una o varias cámaras de video (Beverly y Van Iersel, 1998; escáneres hasta llegar a cámaras digitales (Jonckheere *et al.*, 2004).

Los estudios con plantas han utilizado muy poco el uso de cámaras fotográficas de los teléfonos celulares, cámaras Web o siendo incorporadas en computadoras aunque éstas permiten capturar imágenes con resoluciones razonables en cualquier lugar, Guerrero determina que el área de objetos gráficos se pueden analizar las imágenes existiendo en internet plataformas de software libre como Image J Rasband, 2007 en los que se introduce una referencia de tamaño conocido acoplándose estos elementos para la medición del área y otros parámetros de crecimiento foliar, se tendrá un sistema portátil económico y preciso que apoyaría a la investigación y toma de decisiones aún en lugares con recursos

tecnológicos muy limitados; comparando las áreas generadas por un medidor de área foliar y fotografías tomadas por tres tipos de cámara digital sobre cuadros de papel verde en 5 especies de vegetales. mostró tener el mejor desempeño para la medición de área foliar la cámara de teléfono celular o la cámara Web; Aun así los tres tipos de cámara generaron imágenes adecuadas para la determinación de área foliar (Guerrero, Andrés, Quintero, & Pérez, 2012) y (Schneider, Rasband, & Eliceiri, 2012).

Easlon y Bloom determinan también que los softwares de área foliar proporcionan una herramienta precisa y rápida permitiendo estimar el área foliar de las imágenes, esta herramienta tiene la capacidad de medir por medio de píxeles hojas separadas de diversos orígenes permitiendo ser analizado para medir el área foliar y follaje de un cultivo apoyándose de imágenes infrarrojas para distinguir el área foliar del suelo o el fondo de imagen, al mejorar los rangos de color por medio de criterios de selección de calibración para hoja en (*Solanum lycopersicum*), Considerando también el tiempo requerido al utilizar como método indirecto (escáner de superficie plana y análisis Image J) con un tiempo aproximado de 3 minutos para análisis de área foliar más 5 minutos, capturando la imagen utilizando cámara digital y una medición de área foliar fácil requiere menos de tres minutos para capturarla y menos de 5 segundos para analizarla (Easlon & Bloom, 2014).

Dentro del sistema de monitoreo en dos variedades de Yuca, a través de una metodología no destructiva como un medio de seguimiento en el desarrollo de cultivo de yuca en campo abierto para mejorar robustez y mejorar el sistema de monitoreo no destructivo, después de realizadas las mediciones en campo desde la germinación hasta finalizar el ciclo de desarrollo; se obtiene el área foliar se toma una hoja y se coloca dentro de una lámina transparente diseñada para luego tomar una fotografía con cámara en posición vertical por encima del medidor

debidamente identificada para posteriormente ser analizada por el procesador de imagen Image J (“James Cock ,Patricia Moreno Cadena , Mayra Alejandra Toro y Johanna Arango, 2014).

Al comparar el manejo de sistemas hidropónicos en Nutrient Film Technique, durante dos ciclos de producción de feb- abril y de ago- dic de con albahaca y acelga mostrando cual presenta mejor desempeño bajo la tecnología hidropónica en NFT. Para lo cual en albahaca a los 30 días después del trasplante (ddt) se midió el IAF índice de área foliar aproximada defoliando las hojas de 30 plantas utilizando un escáner para luego obtener las imágenes que posteriormente se analizaron con el software IMAGE J, el cual provee de manera directa el área foliar promedio de 63 cm<sup>2</sup> el caso de acelga a los 30 ddt se realiza la cosecha para luego obtener mediciones de peso fresco y seco de las proporciones, asimismo se midió el IAF sobre los individuos, para lo cual se defoliaron por completo utilizando un escáner para obtener imágenes que posteriormente se analizaron con el software image j con valores de una media por planta de 560.6 cm<sup>2</sup> en base a los rendimientos obtenidos se determinó que la acelga presenta mejores comportamientos que la albahaca por sus rendimientos y mejor respuesta ante la nutrición (Birgi, 2015).

### **Análisis de crecimiento en plantas a partir de ecuaciones matemáticas**

La descripción del crecimiento de una planta, a lo largo de su ciclo de vida o de producción, así como la evaluación de tratamientos capaces de modificar la acumulación de biomasa de un vegetal requieren de objetivos que puedan ser validados estadísticamente, mediante técnicas matemáticas de análisis de crecimiento vegetal a partir de mediciones sencillas (área foliar y peso de los diferentes órganos) dichos parámetros permiten estimar con suficiente precisión, procesos fundamentales que hacen a la productividad, como la tasa de fijación de

carbono y la partición de fotoasimilados entre los diferentes órganos de un vegetal, estableciéndose como una disciplina relacionada con la ecofisiología y la agronomía (Poorter y Sack 2012).

La interpretación cuantitativa del crecimiento en los modelos descriptivos se ha desarrollado bajo dos enfoques matemáticos, análisis clásico y análisis funcional ambos modelos toman como variable base el incremento de área foliar y materia seca como medida del material vegetal presente.

“Mediante el análisis clásico se estima en qué medida la fijación de carbono por unidad de área foliar está disponible para producir área foliar, contribuyendo a la acumulación de biomasa entera haciendo a éste análisis apropiado para plantas que se encuentran en crecimiento exponencial, utilizados en estudios ecológicos, en que se evalúa la competencia temprana entre plantas adaptándose al estudio de plantas tardías”.

“La biomasa acumulada de una planta u órgano un incremento inicialmente a una tasa exponencial, más tarde lo hace linealmente y finalmente crece a una tasa decreciente hasta alcanzar un nivel máximo asemejándose a una curva sigmoidea”(Poorter, 2002).

La primera derivada de esta curva es la tasa de crecimiento absoluto (AGR,g.día) de una planta u órgano en cualquier instante de tiempo (t), se define como el incremento en peso seco de material vegetal (w) por unidad de tiempo, es decir:  $AGR=dw/t$ .

Matemáticamente es la pendiente de la ecuación que relaciona el algoritmo natural del peso seco total con el tiempo transcurrido, dado que es imposible realizar medidas de la biomasa seca de una misma planta en distintos momentos (sería

una medición destructiva), RGR se calcula a partir de muestreos de plantas diferentes a lo largo del periodo experimental (Di Benedetto & Tognetti, 2016).

“Estas fórmulas basadas para valores promedios propuestas por Waston 1952, Yoshida 1972 y Hunt 1978; pueden calcular índices de crecimiento por sus aplicaciones en la toma de decisiones sobre la planificación y manejo de cultivos hortícolas, con el objetivo de obtener la validación correcta de los procesos y desarrollo en plantas. Dividiéndose los modelos en empíricos (descriptivos) y causales (mecanísticos o explicativos), basados estos dos últimos en procesos fisiológicos”.

Los modelos se generan a partir de curvas ajustadas a modelos no lineales de tipo exponencial, sigmoidea, logístico, polinomial y de Gompertz, los parámetros de elección del modelo apropiado se pueden realizar por medio de paquetes estadísticos, que una vez obtenida la curva ajustada o función se procede a derivar esta función, con la cual se pueden calcular los índices de crecimiento, rendimiento, TAN (fotosíntesis laminar, TCR, IAF (cm<sup>2</sup>) TCC, TCR, TAC, AFE, etc. Obteniendo los valores estimados como masa seca w1 y w2, realizados en los tiempos T1y T2.

Se determinan las ecuaciones de regresión para masa seca y área foliar, los modelos se seleccionan por un coeficiente de correlación r<sup>2</sup>, se usa la herramienta del estadístico generando ecuaciones de regresión (Barrera & Melgarejo, 2006).

Garcés y Forcelini evaluaron la relación entre el peso de hojas y área foliar, a partir de plantas recolectadas en el estadio R7.1, en 64 parcelas de campo con el cultivar de soja Nidera 5909 RG. El peso fresco fue medido luego de la colecta, el peso seco después de 48 horas de incubación a 65° C y el área foliar a través de un integrador digital Licor. Sin diferencias significativas ( $p < 0.0001$  e R<sup>2</sup> de

0.74 a 0.97) para cada estrato, para la planta entera y media de la planta la relación de área foliar fue de  $y = 45.53 x + 19.03$  para peso fresco e  $y = 176.17 x - 75.30$  para peso seco. Esta herramienta se presenta potencialmente viable para estimar el área foliar de la planta. La utilización del peso seco es más trabajosa, más no requiere pesaje de las hojas inmediatamente después de su colecta (Garcés & Forcelini, 2011).

Jimenez-Morales, al evaluar el uso del extracto de vermicompost combinado en diferentes proporciones con solución nutritiva en condiciones hidroponía bajo invernadero, para la producción de lechuga (*Lactuca sativa* var. longifolia) define modelos de simulación del crecimiento, estimando el efecto sobre el extracto de vermicompost en ausencia de solución nutritiva tuvo mayor efecto sobre extracto de vermicompost (Jiménez-Morales, Trejo-Téllez, Gómez-Merino, & Volke-Aller, 2014).

Cabezas y Silva, realizaron un estudio en relación al área foliar individual y medidas lineares de la hoja de aliso (*Alnus acuminata*) familia Betulaceae, mangle (*Escallonia pendula* Pers.) familia (escalloniaceae) y roble (*Quercus humboldtii bompland*) familia fagaceae, en condiciones de campo. El objetivo de este estudio fue comparar la eficacia de los modelos lineales, producto de mediciones directas no destructivas del área de la hoja, para luego realizar una validación, a partir de un nuevo conjunto de datos, en condiciones distintas. El análisis de regresión del área en función del largo de la hoja (Lh), del ancho máximo de la hoja (Ah) y del producto del largo por el ancho (LhxAh) condujo a proponer modelos que pueden ser usados para la estimación apropiada del área foliar individual de la hoja. Para todas las especies, el mejor modelo fue de forma  $AF = a + b (Lh \times Ah)$  los coeficientes de determinación resultaron superiores a 0,95. En la validación de los modelos se encontró que la relación entre el área de la hoja media y el área estimada, mediante la respectiva ecuación, fue significativa al nivel de 0,1% y el  $r^2$

fue de 0,99 en todos los casos. Se concluye, que los modelos lineales encontrados para estimar el área foliar de *A. acuminata*, *E. pendula* y *Q. humboldtii* pueden ser usados en estudios biológicos, agronómicos, ecofisiológicos, ambientales y forestales con alto grado de precisión y rapidez (Cabezas-Gutiérrez and Silva, 2009).

Wu *et al*, por medio de la comparación de diferentes modelos por el método no destructivo sobre estimación de área foliar en cultivo de tato (*Colocasia esculenta* L. shott) proponen encontrar el mejor modelo y variación en los coeficientes de área foliar (K) a través de las etapas de desarrollo de la hoja, estaciones de cultivo y cultivares, utilizando los modelos tanto de longitud de hoja o la longitud desde el punto de unión del peciolo hasta el ápice de la hoja y el ancho en hoja, el modelo LW1-LW9 proporcionó las estimaciones más precisas de área de la hoja esta comparación mediante los modelos que mejor significancia tuvo al ajustarse mejor a las condiciones de los coeficientes en área foliar (Wu *et al.* 2010).

Mediante la obtención de una ecuación alométrica entre dimensiones lineares y de superficie en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) se permitió estimar el área foliar de un cultivo haciendo el muestreo estudiaron las relaciones alométricas entre el largo y ancho máximo y el área foliar individual, evaluando el grado de ajuste de éstas ecuaciones en algunos cultivares modernos en condiciones de invernadero; aún dentro de un mismo cultivar, las mediciones en términos  $L \cdot A$  fueron  $150\text{cm}^2$  para Marmade,  $260\text{cm}^2$  para 7718 y Carmelo  $180\text{cm}^2$ , comprobando los requerimientos de exactitud que se precise, pueden diferenciarse según el cultivar y o tamaño de la hoja para los casos en que se desconozca la función lineal de mejor ajuste deberá ser obtenida (Astegiano, Favaro, & Bouzo 2015).

Dado que los cultivos en hidroponía permiten controlar los niveles de nutrimentos disponibles para la planta por lo que la observación y evaluación de los fenómenos fisiológicos causados por deficiencias o excesos nutrimentales son fácilmente detectables “Es cada vez más útil en el cultivo de hortalizas en México entre ellas el Jitomate es por ellos que es importante considerar la manera de medir el crecimiento vegetal caracterizado por no ser uniforme y estar relacionado con el cambio de volumen o peso en la semilla, raíz, tallo y hoja de la planta. Un valor relacionado con el IAF es el DAF ya que describe cual es la duración del área foliar en el tiempo durante el cual el área foliar es funcional”(Moreno; Sánchez y Blancas, 2011).

Morales *et al*, evalúan el uso del extracto de vermicompost combinado en diferentes proporciones con solución nutritiva, sobre la producción de lechuga (*Lactuca sativa var.longifolia*) definiendo modelos de simulación del crecimiento. El extracto de vermicompost en ausencia de solución Steiner muestra tener un efecto sobre la cantidad de área foliar, no presenta incrementos adicionales a niveles altos de la aplicación combinada de los dos factores experimentales, teniendo más influencia sobre esta variable el factor extracto de vermicompost que en combinaciones (Jiménez-Morales et al., 2014).

Romero, al medir el crecimiento de Chile Miahuateco, con la finalidad de generar información que permita conocer la eficiencia en la acumulación de materia seca, rendimiento e índices de eficiencia fisiológica, Mediante el análisis de crecimiento bajo 5 concentraciones de la solución nutritiva universal de Steiner el comportamiento de la razón de área foliar fue estadísticamente igual en todos los tratamientos. La concentración de la solución nutritiva afectó el diámetro del tallo, área foliar y número de hojas sin embargo para alturas y número de bifurcaciones fueron estadísticamente iguales, para hojas las plantas con mayor número a los 105 ddt y 168 ddt las que desarrollaron en la solución nutritiva de 75% de concentración (Romero ,2013).

Hernández *et al*, al evaluar el crecimiento, rendimiento y calidad de cebollas en dos densidades de plantación en Calera, Zacatecas, México, a partir de las siguientes densidades 394,736 y 526,315 plantas por hectárea en camas de siembra, obtiene resultados a los 115ddt y 134ddt, reportando en la medición de área foliar que la densidad de población más alta obtuvo a los 115 ddt= 15969mm<sup>2</sup> y a los 134 ddt=9813mm<sup>2</sup> mientras que para la densidad más baja a los 115ddt=18021 y a los 134ddt=8379mm<sup>2</sup> (Hernández, Ríos, Valle, & Calzada, 2013).

### **Parámetros agronómicos**

El manejo agrícola del cultivo de brócoli debe estar encaminado a desarrollar las características de tamaño, peso, forma, color y aspecto (Soto, 1991). El tamaño de la pella es el principal carácter comercial en el brócoli (Wescott y Callan, 1990). Seguido por otros indicadores como: floretes cerrados, color verde oscuro brillante y cabezas compactas (Cantwell y Suslow, 2007). Wien y Wurr (1997), señalan que la densidad de plantación es el principal factor que afecta el rendimiento.

Para evaluar los indicadores de calidad agronómica de Brócoli en los sistemas de San Sebastian Mixquic, D.F. determinaron la densidad de la población y estimación de rendimiento.

Tomando en cuenta como indicadores de calidad agronómica: peso, color y perímetro de pella. A partir del supuesto que los principales parámetros agronómicos de calidad establecidos para brócoli se encuentran dentro de la normatividad establecida para su comercialización en fresco para el mercado nacional NMX- FF-046-1982 de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SFI, 1982).

Los resultados obtenidos en cuanto a la densidad de población no presentaron diferencias significativas, la media en esta variable fue de 40 000 plantas/ha siendo relativamente baja en comparación con otras regiones reportadas y estudios que varía de 55 000 a 80 000 plantas/ha (Soto, 1997; Lazcano et. Al 1997; Vagen, 2007; Fraire *et al.*, 2010) (Pérez-Olvera, García-Mateos, & Pérez, 2014).

Al incrementar la producción y calidad del brócoli mediante un uso eficiente del Sistema de fertirriego por goteo se pretendió la posibilidad de incrementar el rendimiento mediante la evaluación de diferentes componentes como lo son: altura total, peso de pella, diámetro total de pella, número total de hojas, área foliar, índice de área foliar, materia seca en hojas, tallo y pella, porcentaje de cosecha por corte en fertirriego por goteo y riego de manera convencional de producir del productor, con el objetivo de determinar el comportamiento entre algunos órganos respecto a otros en la planta de brócoli (Javier, Villalobos-Reyes, Castellanos-Ramos, & Tijerina-Chávez, 2005).

Para determinar el efecto de la luz led de alta intensidad de distinta longitud de onda (rojo, azul y verde), en germinación y crecimiento de plántulas de brócoli, evaluando las variables velocidad de germinación, porcentaje de germinación, longitud media del hipocótilo, peso fresco y peso seco.

En la variable peso fresco el mayor peso se presentó en el tratamiento verde por 12 horas con un incremento contra 16%. En el peso seco el mayor peso se presentó en el tratamiento rojo por 12 horas con un incremento contra el 6%. Esto demuestra que las respuestas fisiológicas producidas por la exposición a distintas longitudes de onda de alta intensidad, en semilla de brócoli variaron de acuerdo con el tiempo de exposición y tipo de longitud de onda usado. Por lo tanto el tipo de iluminación mostró ser una opción viable para mejorar la calidad fisiológica del brócoli. Algunos autores comentan que la iluminación con luz roja incrementa la

tasa de fotosíntesis de la planta, originando el incremento en el peso seco. (Paniagua-Pardo *et al.*, 2015).

El genotipo, el estado de desarrollo de la planta, diferentes condiciones de crecimiento y regulación interna de la planta pueden afectar la partición de masa seca (Marcelis, 1996). La partición de materia seca dentro de los órganos cosechables contribuye al rendimiento del cultivo, por lo que es importante hacer correctamente la simulación de la partición de la masa seca a través del establecimiento de un modelo simple de simulación y distribución de masa seca en brócoli cultivado en Sabana, Bogotá. Los coeficientes de distribución son las proporciones de materia seca total en hojas, tallos y pellas para brócoli se tomaron en cuenta los estados vegetativos y reproductivos modelando la masa seca de hojas, tallo, raíz y pella. Siendo la hoja la que obtuvo un mayor porcentaje de fotoasimilados con el 32%, tallo el 9%, raíz 19% y flor con un 22% (Carranza, Lancho, Miranda, Salazar, & Chaves, 2008).

Gutiérrez, a través de la producción hidropónica de lechuga con recirculación y sin recirculación con solución nutritiva, haciendo factible el uso de sistemas hidropónicos cerrados, que otorguen el mismo rendimiento y calidad que los sistemas hidropónicos abiertos mediante el ciclo de cultivo de lechuga, uso eficiente del agua y fertilizante, se analizaron variables en crecimiento, rendimiento, aprovechamiento de agua y fertilizantes; las camas rellenas de arena de tezontle rojo sin y con recirculación de la solución nutritiva. Sin recirculación tratamientos: t1, con recirculación t2 y t3 sistema hidroponía profunda o balsa, para el t3 se obtuvo el mayor rendimiento en peso seco para el diámetro de cabeza y largo de hojas también el mayor rendimiento en t3 a 7.3kg.m<sup>2</sup> durante primavera y verano. Con el t2 se obtuvo un ahorro de agua de 20% y con el t3 de 3% respecto al T1.

El ahorro de fertilizante (K, Ca, N-NO<sub>3</sub>, y P) en el sistema con recirculación de la solución nutritiva (T2) fue de 10.5% respecto al sistema abierto T1 y en hidroponía profunda T3 en ahorro fue de 50% (Gutiérrez, 2011).

Hernández *et al.*,(2012) al evaluar el crecimiento, rendimiento y calidad de cebolla en dos densidades de plantación, registraron un mayor crecimiento de plantas cuando se usó la densidad de población de 394,700 plantas ha<sup>-1</sup> que cuando se establecieron 526,300 plantas ha<sup>-1</sup>, en parámetros como diámetro del cuello, longitud de hojas, área foliar, peso seco de hojas y bulbo, estas diferencias fueron aún más notorias en la calidad del bulbo expresada en tamaño y peso promedio del bulbo aun cuando el rendimiento fue superior a mayor densidad de población (Hernández et al).

Lomelí *et al.*, Con la finalidad de obtener respuesta productiva de 40 variedades de tomate de cascara (*Phisalis ixocarpa Brot*) en 4 sistemas de producción riego rodado, riego por goteo con y sin acolchado plástico e hidroponía bajo invernadero para determinar las mejores variedades para cada sistema y comparar la producción entre sistemas, el mejor sistema de producción fue a campo abierto con riego por goteo y acolchado de plástico, tanto en rendimiento 948 gramos por planta en tamaño de fruto 31g por fruto, aunque en este último rasgo no superó al sistema de hidroponía (Peña-lomelí, Ponce-valerio, Sánchez-del-castillo, & Magaña-lira, 2014).

### **Peso fresco y Seco.**

El crecimiento es definido generalmente como un incremento irreversible en las dimensiones de la planta midiendo los cambios en volumen, debido a las dificultades prácticas que genera este tipo de mediciones, se determinan variables la acumulación de peso, las variables en altura y diámetro, cambios en el área

foliar, el peso fresco siendo un buen estimador del volumen en condiciones de turgencia ya que las variaciones en el peso específico de los tejidos vegetales son bajas (ya que el agua como principal componente en casi todos los órganos y tejidos), sin embargo el análisis clásico del crecimiento es un análisis de acumulación de peso seco, que no estima bien el volumen, debido a que los tejidos pueden experimentar variaciones en su contenido porcentual de materia seca (ya que una proporción importante de los foto asimilados almacenados en una célula pueden ser transitorios, aun así el peso seco es un buen estimador del carbono total de la planta, lo que permite analizar importantes aspectos de su fisiología.

Jiménez *et al*, a través de las recomendaciones de fertilización potásica en brócoli con fertirriego en condiciones de invernadero, compara la eficiencia entre el cultivar heritage con suelo en tratamiento con vertisol en Celaya Guanajuato, de marzo a julio de 2003, Con dos manejo: convencional y fertirriego. Las variables a medir fueron rendimiento, peso fresco y peso seco, concentración de potasio en la planta, etc. la aplicación de K incrementó el rendimiento de brócoli en comparación con los no aplicados como el testigo sin potasio, Con riego convencional la aplicación de K elevó significativamente el rendimiento respecto al testigo por lo tanto con fertirrigación la planta estuvo en mejor condición para absorber el K del suelo y para producir un rendimiento mayor que con manejo convencional, ya que al regar hasta el punto de saturación en manejo convencional la falta de oxígeno reduce la capacidad radical para absorber la fertilización con K, incrementando la humedad del suelo reduciéndose el flujo de transpiración y la absorción nutrimental. El rendimiento en peso fresco con fertirriego y el peso de la planta fue mayor que en manejo convencional (1820 g vs 1337 g. Planta), mientras que la materia fresca en pella fue de 277.9 g Para fertirriego y 169.6g (Jimenez *et al.*, 2005).

Paniagua *et al.*, determinan el efecto de la luz led de alta intensidad de distinta longitud de onda (rojo, azul y verde) sobre la etapa de germinación y crecimiento de plántulas de brócoli, la variable velocidad de germinación, porcentaje de germinación, longitud media del hipocótilo, peso fresco y peso seco son tomadas en cuenta para este estudio, midiendo la variable peso fresco el mayor peso se presentó en el tratamiento en longitud de onda del verde por 12 horas con un incremento contra 16%, en el peso seco, el mayor peso se presentó en el tratamiento rojo por 12 horas con un incremento contra el 6%, demostrando que las respuestas fisiológicas producidas por la exposición a distintas longitudes de onda de alta intensidad, en semilla de brócoli variaron de acuerdo con el tiempo de exposición y tipo de longitud de onda usado, por lo tanto el tipo de iluminación mostró ser una opción viable para mejorar la calidad fisiológica del brócoli, algunos autores comentan que la iluminación con luz roja incrementa la tasa de fotosíntesis de la planta, originando el incremento en el peso seco (Paniagua-Pardo *et al.*, 2015).

## **Producción y Rendimiento**

Es importante considerar factores que han contribuido en la complejidad sobre el manejo de cultivos intensivos y el hecho de que la cosecha se realice en muchos casos, en un estado avanzado del ciclo que hace tiempo dejó de crecer exponencialmente, dificultando la aplicación de una técnica de análisis de crecimiento pensada para situaciones mucho más sencillas, sin embargo en cultivos intensivos, la acumulación de peso fresco suele tener mayor valor comercial.

Aun así se han podido salvar estas dificultades para permitir el empleo de esta herramienta en el análisis de crecimiento ofreciendo numerosas ventajas al evaluar el efecto de tratamientos experimentales, llamado análisis integrado donde se evalúa por un lado la producción de biomasa por parte de la planta en relación con la disponibilidad, captación y utilización de un recurso ambiental y por otro

lado el empleo de esa biomasa para la producción del órgano de interés agronómico.

La producción de brócoli del 2010 al 2015 se ha mantenido casi constante debido a que la demanda seguramente no se incrementa a nivel nacional consecuentemente a nivel internacional.

La figura 1 Indica la participación de México como un país constante en la producción con un aumento en producción y rendimiento para el año 2016.

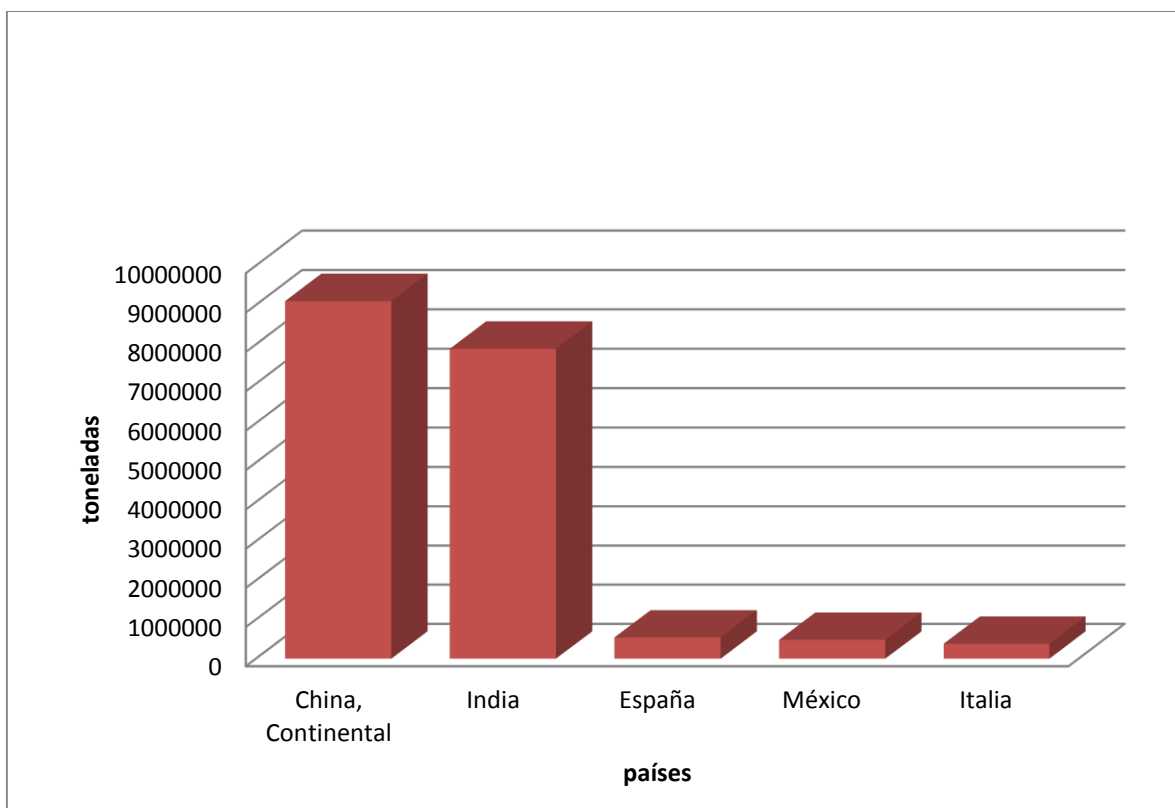


Figura 1. Países productores de brócoli en producción medida en toneladas

Cuadro 1. Producción nacional de brócoli a partir del 2010 hasta el 2014.						
Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Producción (miles de ton)	259.6	257.71	256.02	259.1	241	231.98

Los últimos registros de 2016 durante la época de siembra otoño/invierno arrojan que de los 16 estados productores se obtuvo un total de superficie sembrada de 15,503.50ha, una superficie cosechada de 15,478.00, con una producción en toneladas de 246,492.63 en rendimiento de ton/ha de 15.93 obteniendo un valor en miles de pesos en producción de 1,351,099.13 (SIAP, 2016).

Sánchez *et al.*, al encontrar diferentes estudios de crecimiento de producción en cultivos de hortalizas y flores dentro o fuera del invernadero se debe contemplar el análisis de crecimiento específico para cada especie, cultivar por sus características morfológicas y fisiológicas. Al comparar crecimiento, rendimiento por unidad de superficie y tiempo lográndolo con sistemas de producción en plantas de jitomate en hidroponía bajo invernadero, mide a través de variables morfológicas como altura de la planta y rendimiento (Sánchez del Castillo *et al*; 2013).

Risco Arias *et al.*, a través número de hojas (50 y 70 dds) mide la variable peso fresco de un cultivo de brócoli respecto de las dosis de fertilización con nitrógeno en un rango de 200 a 400 kg aplicados por ha con el resultado que el tratamiento de N aplicado 400 kg/ha a los 70 dds fue el de mayor rendimiento por diámetro de pellas, es decir que a mayor número de hojas y coloración más oscura, la asimilación del nitrógeno sobre la planta aumentaba gradualmente (Risco Arias, Gutiérrez Albán, & Buenaño Sánchez, 2016).

Bakker, Swanton y Mckeown en 2009 determinan la interacción de crecimiento en las concentraciones de fertilización con nitrógeno en dos cultivos de brócoli, para optimizar el rendimiento y la calidad del brócoli es decir la acumulación y dinamismo del nitrógeno en suelo, utilizando dos variedades decathlon y captain en dos épocas de siembra, Se probaron siete dosis de nitrógeno aplicados en forma de nitrato de amonio (0, 50, 100, 150, 200, 300, 400 kg N ha<sup>-1</sup>) que se incorporaron antes de trasplantar dos cultivares de brócoli, Capitán y Decatlón.

La madurez de las cabezas se retrasó 5 días a 0 kg N ha<sup>-1</sup> en comparación con los tratamientos que recibieron las otras dosis de N. obtuvieron los rendimientos máximos de 243 a 272 kg N ha<sup>-1</sup> para el rendimiento expresado en t ha<sup>-1</sup> y de 171 a 187 kg N ha<sup>-1</sup> como rendimiento expresado en ha<sup>-1</sup>, con resultados en los promedios de cultivo respecto del año, la tasa más económica de fertilización con nitrógeno (DOP) varió de 298 a 309 kg ha<sup>-1</sup>, 50 kg ha<sup>-1</sup> más que las estimaciones para el rendimiento máximo comercializable derivado de los modelos de meseta cuadrática. La incidencia de cabezas deformadas disminuyó y el color del florete mejoró a medida que aumentó la dosis de nitrógeno, pero el tallo hueco y la pudrición de la cabeza también aumentó con altas tasas de nitrógeno.

En el florete NO<sub>3</sub>-N concentración aumentada y concentración de vitamina C disminuyó a altas dosis de nitrógeno. La aplicación de las tasas de nitrógeno requeridas para maximizar el rendimiento puede tener un impacto económico negativo y consecuencias ambientales. Sin embargo, restringir el nitrógeno también pone en peligro el rendimiento y la calidad. Por lo tanto, la cantidad óptima de nitrógeno previo a la plantación equilibra el rendimiento, la calidad, la economía y el cuidado del medio ambiente (Bakker, Swanton, & Mckeown, 2009).

López *et al*, Comparan los efectos en las dosis de diferentes concentraciones de riego sobre el crecimiento en un cultivo de brócoli, al incorporar nitrógeno como parte elemental en la nutrición, descubriendo que a concentraciones elevadas

beneficia en el crecimiento y desarrollo del brócoli mostrando rendimientos altos en pella (López *et al.*, 2011).

Al evaluar indicadores de calidad agronómica de brócoli sobre sistemas de San Sebastián Mixquic, D.F. Pérez *et al.*, determinan la densidad de población y estimación de rendimiento, como indicadores de calidad agronómica: peso, color y perímetro de pella, a partir de los principales parámetros agronómicos de calidad establecidos para brócoli, los resultados obtenidos en cuanto a la densidad de población no presentaron diferencias significativas. La media en esta variable fue de 40 000 plantas/ha. Siendo relativamente baja en comparación con otras regiones reportadas y estudios que varía de 55 000 a 80 000 plantas/ha (Pérez-Olvera *et al.*, 2014).

Por medio de los resultados en alturas Puenayan *et al.*, encontraron respuesta del brócoli (*Brasica oleracea var. Itálica*) híbrido fantástico ante la fertilización con 5 fuentes de azufre F1 Sulfato de Amonio, F2 Sulfato de Calcio en polvo, F3 Sulfato de Calcio granulado, los azufres elementales: F4(Tigger) y F5 (Volcán) aplicadas en dos dosis: d1(40kg.S.ha) y d2(80kg.S.ha), el híbrido fantástico reportó valores bajos ante diferentes niveles de fertilización utilizados pero con resultados de mejor fuente para F4(Tigger) con un rendimiento promedio de 27.12 t/ha y la mejor dosis fue la d1 (40kg.S.ha) con un rendimiento promedio de 22.70t/ha (Puenayan I, A., Córdoba R, F., Unigarro S, 2010).

Kehr, evalúa en dos épocas otoño-invierno, primavera-verano el comportamiento productivo de 11 variedades de brócoli, en rendimiento de pellas y jugo, para Primavera-Verano los rendimientos fueron mayores respecto a otoño-invierno, el rendimiento de pellas, el rango fue de 21,7 ton/ha con la variedad Belstar y 34,4 con Heritage, respecto al peso de la pella central, destacó Heritage con 496 g, y los menores en Belstar y Tentation con 312 y 321 respectivamente, los resultados medidos para el diámetro el rango fue entre 14,8 cm para Greenbelt y Heritage con 18,1cm, en materia seca de pella el rango fue de 21% en Heritage y 15% en

Máximo, para la temporada Otoño-invierno el mayor rendimiento fue para la variedad Heritage con 15,3 ton/ha, y los más bajos para las variedades CLX 3.502 con 6,4 y Belstar con 8,3 ton/ha (Kehr, Elizabeth 2012).

Vislao, a través de la aclimatación de 12 híbridos y potencial de producción en brócoli, optó por considerar los parámetros o características agronómicas como el estudio de altura, días a cosecha y peso de pella, en primer instancia da a conocer que los tratamientos relacionados Avenger, Legacy y Mónaco cuentan con excelentes resultados para la agroindustria; este trabajo arroja el rendimiento en pella/ha siendo Avenger el híbrido de mayor rendimiento con 19.87kg, el rendimiento en kg/ha se determinó contando el peso en g de cada pella y se relacionó a la producción en kg/h mostrando el mayor rendimiento Avenger con una media de 18,879.20kg/ha (Vislao, 2013).

Telenchana, menciona que la fertilización nitrogenada es la manera directa de producción como uno de los nutrientes más importantes para la planta de brócoli, el diseño experimental del trabajo con 5 tratamientos y tres repeticiones a través de los tratamientos fueron de 200 kg/ha de N-250 kg/ha de N-300 kg/ha de N-350 kg/h N-400 kg/ha N en forma de nitrato amónico al 33% al medir en las plantas la longitud y calibre del tallo, número de hojas, peso y diámetro de la pella en cosecha más los parámetros agronómicos. en cuanto al tratamiento vegetativo no fue afectado por los tratamientos en la evaluación realizada a los 70 dds, en cambio en parámetros de cosecha el tratamiento N-350 obtuvo la mayor producción de cosecha de N con 17.81 ton/ha, mayor que el tratamiento con N-40014.02ton/ha (Telenchana, 2015).

Con la finalidad de obtener respuesta productiva de 40 variedades de tomate de cascara (*Phisalis ixocarpa Brot*) en 4 sistemas de producción riego rodado, riego por goteo con y sin acolchado plástico e hidroponía bajo invernadero para determinar las mejores variedades para cada sistema y comparar la producción entre sistemas, a través de los resultados arrojados consideran que el mejor

sistema de producción fue a campo abierto con riego por goteo y acolchado de plástico, tanto en rendimiento de 948 g por planta y en tamaño de fruto 31g por fruto aunque en este último rasgo no superó al sistema de hidroponía (Peña-lomelí *et al.*, 2014).

Slosar *et al.*, 2016 Como parámetro de calidad de brócoli en dependencia a la fertilización con nitrógeno, sulfuro y zinc, se obtuvieron resultados del incremento más significativo en la dosificación de los tres elementos con un 59 % mayor que el grupo control, mostrando ser la dosis más adecuada para mejorar la calidad del cultivo, los parámetros para análisis se tomaron a partir de muestras de tallo y pella, obteniendo que la aplicación adicional de zinc conduciendo un aumento estadísticamente significativo en el rendimiento del brócoli en comparación con el control.

Para rendimiento en pella varió de 7.89 t/ha a 12.56 t/ha con un porcentaje de 59.1% comparado con el control (Slosár, Uher, Andrejiová, & Juríková, 2016).

López *et al.*, Con el fin de evaluar la respuesta en rendimiento, del agua de riego utilizada en brócoli en Albacete provincia de España, aplicando 7 tratamientos (del 59 al 108 % de evapotranspiración del cultivo ( $E_t_c$ ) donde se generó una producción en rendimientos máximos de 12 t/ha<sup>-1</sup> a un nivel de riego de 345mm y uso eficiente del agua de 3.37kg/m<sup>3</sup>, en temporada de otoño, prediciendo que el cultivo de brócoli es una alternativa viable para la diversificación de los cultivos, ya que los menores rendimientos obtenidos pueden ser compensado por la mayor producción en precios de ésta temporada, en un momento del año donde la demanda de agua de riego para otros cultivos es muy bajo (López-Urrea, Montoro, López-Fuster, & Fereres, 2009).

López, 2009 clasifica el brócoli entre las especies vegetales con un contenido de nitrato moderado (500-1000mg) de NO<sub>3</sub>. Estudios en fertilización de calidad para el

brócoli o especies vegetales en general no han sido probadas o muy poco estudiadas por lo tanto es importante determinar el efecto del nitrógeno (N), S y Zn. para la fertilización y calidad de rendimiento.

Al evaluar variables morfológicas que difieren según la especie así como variables de rendimiento y sus componentes.

Autores como Mack y Varseveld, Martinac Borosic y Russo en 2014, señalan que dentro de cierto rango: “las plantas manejadas en alta densidad con ambiente sin limitaciones climáticas, como las que se dan en el invernadero incrementan su rendimiento por unidad de superficie por lo tanto al aumentar la densidad” como para la mayoría de las especies el resultado tubo una disminución en el rendimiento por planta, indicativo de cierto grado de competencia por radiación fotosintéticamente activa (RFA), producto de un mayor índice de área foliar sin embargo éste decremento no fue tan importante de tal manera el rendimiento del brócoli se mostró de la siguiente manera:

Para una superficie de 14m<sup>2</sup> se produjo 36000

Para una superficie de 10m<sup>2</sup> se produjo 3080.0

Una superficie de 7m<sup>2</sup> se produjo 22000.

(Mack *et al* , 2014).

Para obtener rendimiento y calidad en respuesta de riego por goteo en brócoli (*brassica oleracea L.var. Itálica*) bajo diferentes regímenes de riego, aplicaciones de nitrógeno y periodos de cultivo en condiciones de invernadero se evaluó el rendimiento y la calidad del brócoli aplicando diferentes dosis de nitrógeno al agua del riego durante los periodos de primavera y otoño de 2007, a través de una relación de clase A de evaporación de bandeja con una KCP= .50, .75, 1.00, 1.25. con 7 días de intervalo de la fertilización recomendada (Doerge *et.al*, 1991); (Nagen 2003) de 200 kg/ha<sup>-1</sup>de N. contra el efecto de 4 niveles de nitrógeno (0 kg/ha, 150kg/ha, 1.200kg/ha y 250kg/ha al comparar cada tratamiento en

diferentes temporadas. el rendimiento más alto en brócoli se obtuvo en el periodo de primavera con  $11.02\text{t/ha}^{-1}$  mientras que en otoño obtuvo un rendimiento de  $4.55\text{t/ha}^{-1}$  (debido a la baja temperatura días de lluvia durante el periodo de otoño)

La eficiencia del uso del nitrógeno cambió a 37-32-73 con un 13% para primavera y 13.08% a 22.46% para otoño, la influencia del nitrógeno sobre la materia seca en pella mostró diferencias significativas entre los periodos del cultivo de 6.6 al 8.1% en el periodo de primavera y 4.2 al 5.7% en periodo de otoño.

El contenido de nitrógeno en pella y hojas por tratamiento variaron de 5.2 a 6.9% en primavera y de 4.6 al 5.3 % en otoño. (Erdem *et al.*, 2010).

## OBJETIVOS

### Objetivo general

- Proponer un modelo de crecimiento para el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. Itálica) a partir de las mediciones de alturas y áreas foliares registradas en todo el periodo vegetativo y formación de inflorescencia.

### Objetivos particulares

- Generar la curva de crecimiento de los 4 cultivares de brócoli en base a las alturas medidas cada 3 días.
- Generar la curva de crecimiento de los 4 cultivares de brócoli del ensayo con base en la medición de áreas foliares cada semana.
- Evaluar Materia Fresca, Materia Seca y rendimiento de los 4 cultivares de brócoli.
- Realizar la correlación entre los parámetros medidos y proponer la eficiencia de los cultivares.

## **HIPÓTESIS**

Si diferentes cultivares de brócoli se manejan en condiciones iguales de clima y nutrición entonces sus comportamientos serán diferentes por su condición genética.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

El ensayo se efectuó en un espacio bajo cubierta ubicado en las instalaciones del Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas (DICA-ICUAP) de la BUAP, equipado con sistema de riego localizado y alimentado con agua de la ciudad.

Se establece un ensayo factorial simple para comparar los crecimientos a través de las alturas y de las áreas foliares de 4 cultivares, denominados Imperial, Manzuri, Heritage y Avenger (cuadro 2) de diferentes casas comerciales colocando uno en cada cama de 12 m de largo y 1.2 m de ancho, distribuyendo una sola planta por nido cada 30 cm y dejando 30 cm entre hileras a tres bolillo con el fin de evaluar al azar dentro de las camas las plantas destinadas a las repeticiones. El sustrato que se utilizó es tezontle rojo lavado con agua de lluvia y homogeneizado a 0.3 cm de tamaño de partícula colocado en un contenedor improvisado de las medidas de la cama y con profundidad de 25 cm de polietileno negro. El sistema de riego consiste en riego localizado a 10 cm de distancia entre goteros y automatizado gracias al apoyo de estudiantes de electrónica dirigidos por la Dra. Susana Soto que permite tener sensores dentro del sustrato y cuando la humedad medida como resistencia al paso de una corriente eléctrica se equipara al 70 % de humedad que es como si un suelo se encontrara a su capacidad de campo manda una señal para que las bombas se prendan y rieguen.

<b>Cuadro 2 cultivares de brócoli utilizadas.</b>					
HÍBRIDO	CARACTERÍSTICAS	PELLA	TAMAÑO DE LA PLANTA	MADUREZ DE LA PLANTA	COLOR
IMPERIAL	Uniformidad de corte, grano de pella pequeño y uniforme. Ideal para temporada de transición (primavera como otoño).	Excelente color	Alta 70 cm	Intermedia 90-95(días después del transplante)	Verde-azulado
HERITAGE	Altos rendimiento, alto vigor, ideal para mercado fresco y agroindustria; hojas grandes y erectas.	Grandes y compactas con granulometría fina	Exclusivo para siembras tardías. 40-50 cm.	Tardío 95-105 ddt	Verde-azulado
MANZURI	Adecuado para la industria por su alto rendimiento y generosa calidad. Logra una buena adaptación a condiciones de alta humedad.	Alto peso	Mediana 50 cm.	Tardío 95-105 ddt	Verde-azulado
AVENGER	Líder en el mercado por su amplia adaptación y consistentes rendimientos. Referente tanto para la industria del congelado como el mercado fresco.	Gran peso pellas bien formadas con grano fino y (domo).	Alta 70 cm	Intermedio 90-95 ddt	Verde-azulado

Al enfatizar las diferencias que existen dentro de las partes de cada cultivar en la planta de brócoli se deben principalmente por las características genéticas de la semilla, ante cambios climatológicos y edáficos. Obteniendo como producto final la formación de inflorescencia de gran importancia agronómica.

El comportamiento entre cada parte de la planta de brócoli reflejó diferencias entre algunas características por ejemplo respecto a la altura podemos mencionar que no por ser las plantas más altas presentan mejores pesos frescos en pella.

La nutrición del cultivo es homogénea para todas las camas y usamos una solución nutritiva patrón conocida como solución de Steiner durante todo el periodo de crecimiento y hasta la cosecha.

La medición del crecimiento a través del registro de las alturas de las plantas de brócoli se realizaron con intervalos de 3 días de 24 plantas por variedad, a partir de los 8 días después del trasplante (ddt) y hasta que las alturas se hicieron constantes a los 78 ddt; medición del crecimiento a través del área foliar se registró cada semana a partir del día 30 después del trasplante ddt y hasta el día 86 ddt y 10 días antes de la cosecha. La medición del área foliar se realizó al principio de manera tradicional y luego un programa de procesamiento de imagen digital mediante toma de fotografías con cámara Nikon coolpix P520 para después obtener la imagen y analizarla por medio del software Image J.

## RESULTADOS

Se evaluó el crecimiento a través de alturas y también a través del área foliar; para alturas se midieron las plantas cada 3 días salvo el intervalo entre primera y segunda fechas que fue de 5 días como se muestra en el (cuadro 3), registrando dicha altura desde la base del tallo hasta la hoja más alta con 4 repeticiones por tratamiento o cultivar y 6 plantas por repetición; el área foliar se midió usando el largo ancho en las primeras veces y también durante todo el periodo de manera indirecta a través de imágenes tomadas con cámara digital y ayuda del software Image G con el que se evalúa el largo y ancho como de manera directa, usando 4 repeticiones y 3 plantas por repetición (cuadro 4). Al graficar ambas tablas, se han logrado sigmoides que se asemejan a las que se muestran en los trabajos teóricos reportados sobre crecimiento aunque para el caso de alturas con una pendiente poco pronunciada o la S muy alargada, pero es interesante que dichas gráficas muestran comportamientos parecidos entre los 4 cultivares estudiados (figura2 y 3).

C.

<b>Cuadro 3. Promedio en alturas medidas para cuatro cultivares de brócoli cada tercer día</b>						
	8 ddt	13 ddt	16 ddt	19 ddt	22 ddt	25 ddt
imperial	9.26	11.04	12.72	13.99	16.87	20.62
heritage	9.77	10.99	12.76	14.83	17.76	21.62
manzuri	10.26	11.01	13.03	15.33	18.81	22.22
avenger	11.01	11.74	13.34	15.99	19.60	22.83

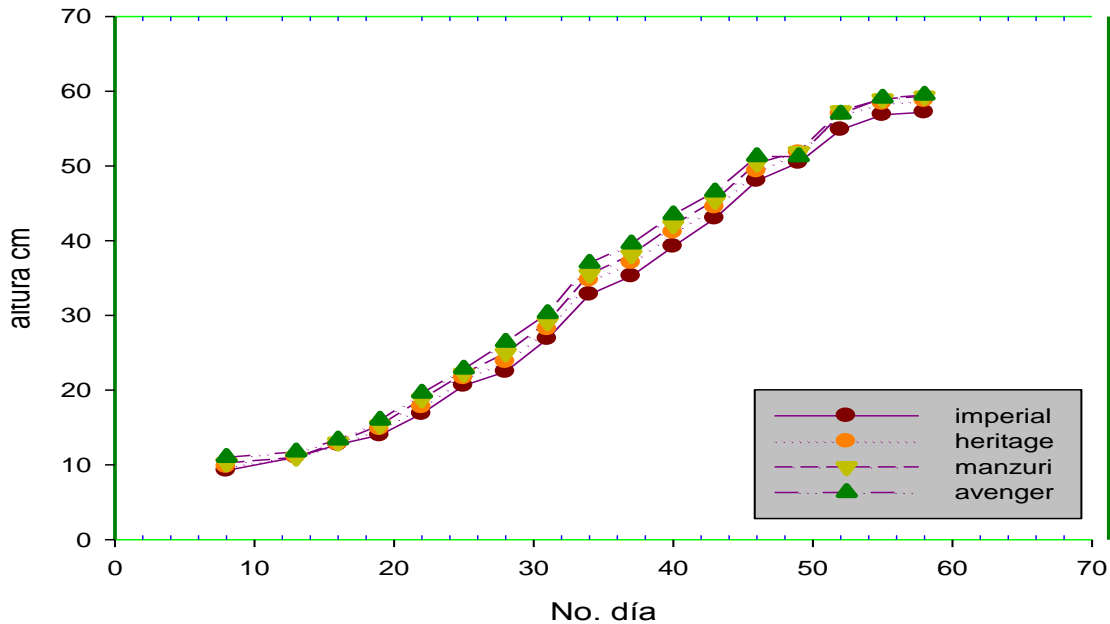
	28 ddt	31 ddt	34 ddt	37 ddt	40 ddt	43 ddt
imperial	22.47	26.87	32.81	35.24	39.23	42.99
heritage	23.80	28.18	34.71	37.06	41.12	44.47
manzuri	24.95	29.10	35.52	38.12	42.10	45.39
avenger	26.42	30.26	36.99	39.58	43.47	46.53

	46 ddt	49 ddt	52 ddt	55 ddt	58 ddt
imperial	48.03	50.45	54.86	56.85	57.18
heritage	49.37	51.74	56.95	58.35	58.53
manzuri	50.37	51.91	57.36	58.97	59.32
avenger	51.26	51.24	56.95	59.08	59.47

<b>Cuadro 4. Promedios en área foliar para los cuatro cultivares de brócoli cada semana.</b>					
<b>CULTIVARES</b>	<b>SEMANA 1</b>	<b>SEMANA 2</b>	<b>SEMANA 3</b>	<b>SEMANA 4</b>	<b>SEMANA 5</b>
IMPERIAL	13.55	20.2	192.95	289	526.64
HERITAGE	18.3	18.7	389.74	610.10	656.86
MANZURI	15	21.1	389.59	587.09	638.52
AVENGER	18.83	25.26	504.35	733.27	748.97

<b>CULTIVARES</b>	<b>SEMANA 6</b>	<b>SEMANA 7</b>	<b>SEMANA 8</b>	<b>SEMANA 9</b>	<b>SEMANA 10</b>
IMPERIAL	876.197	1091.195	1406.398	1717.788	1964.271
HERITAGE	784.2998	1261.4005	1264.0298	2181.1031	2188.8686
MANZURI	935.4208	1112.10617	1167.9406	2044.3816	2049.684
AVENGER	962.0446	1151.1061	1255.2248	2110.9716	2132.16

**Figura 2 altura para cuatro cultivares de brócoli**



**figura 2 altura para cuatro cultivares de brócoli a través del tiempo**

En la figura 2 se puede observar que la sigmoide es de poca pendiente debido seguramente a la característica del brócoli de generar ramas casi en roseta. Del gráfico podemos observar que el crecimiento hasta el día 20 es lento en comparación con el crecimiento a partir de este día y hasta el día 52 en que se vuelve a manifestar un crecimiento lento y su detención definitiva. Sin embargo, cabe destacar que entre los días 46 y 49 el crecimiento casi se detuvo en las variedades heritage, manzuri y avenger, con excepción de imperial que no registró este comportamiento o al menos no fue tan notable como en las otras; esto al parecer se debió a un ataque de pulgón negro (*Aphis fabae*), que de inmediato fue controlado gracias a aspersiones de ajo, tabaco y chicalote fermentados.

D. Análisis de varianza para alturas

El resultado es que no hay diferencias significativas entre las variedades ( $P = 0,994$ ), en la prueba con  $\alpha = 0.05$  (cuadro 5) afirmando que los cuatro cultivares de brócoli en cuanto a alturas no son diferentes, por lo tanto se rechaza la hipótesis, planteada para este parámetro.

<b>Cuadro 5. Medidas obtenidas del análisis de varianza a partir de las alturas.</b>					
Nombre del grupo	Datos	Medias	Desv. Estandar	Error Standar	
No. días	17	33.88	15.35	3.72	
imperial	17	32.44	17.10	4.14	
heritage	17	33.66	17.56	4.26	
manzuri	17	34.34	17.62	4.27	
avenger	17	35.04	17.40	4.22	
Fuente de variación	Distribución de frecuencia	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	Frecuencia	Probabilidad
Relación entre gpos.	4	62.77	15.69	0.0541	0.994
residual	80	23203.43	290.043		
total	84	23266.2			

La potencia del ensayo realizado con alfa = 0,050: 0,049; La potencia de la prueba realizada (0,049) está por debajo de la potencia deseada de 0,800.

**Figura 3. Comportamiento de área foliar en cuatro cultivares de brócoli.**

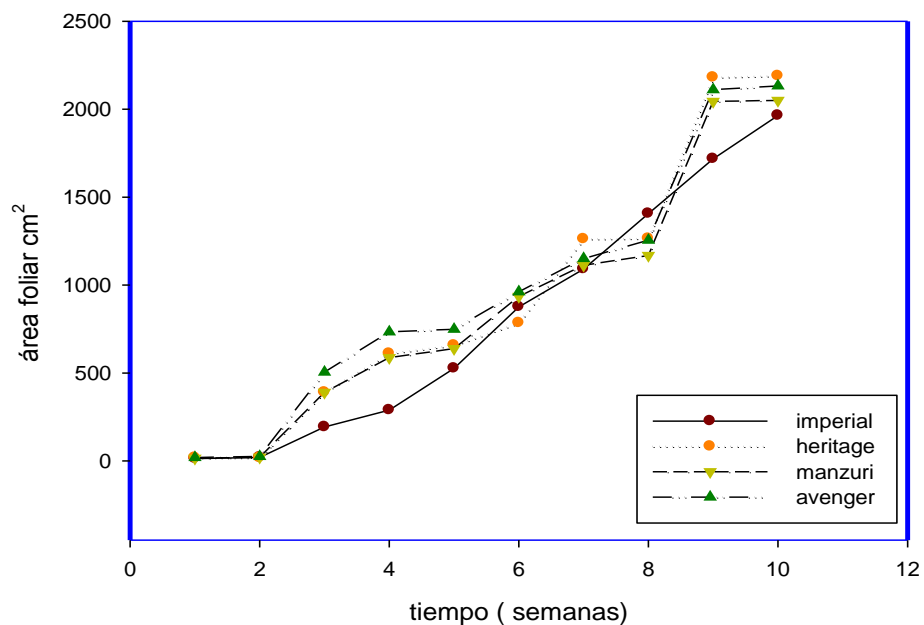


figura 3. comportamiento en cuatro cultivares medidos en área foliar a través del tiempo

La figura 3 resultante de los registros de crecimiento del área foliar muestra ciertas diferencias entre los cuatro cultivares, en especial, a partir de la semana 2 hasta la semana 10 Imperial se comporta como una variedad diferente de Manzuri, Heritage y Avenger. El modelo teórico sigmoide se aprecia como una sigmoide estilizada para estas 3 variedades y para el caso de Imperial, la sigmoide es más natural pero nos faltó la última medida que hubiera mostrado la detención del crecimiento para este parámetro. La detención del crecimiento en área foliar para todas las variedades coincidió con el crecimiento de las inflorescencias por foto asimilados faltando dos semanas para la madurez técnica o cosecha, la variedad Imperial se retrasó una semana a la cosecha y como se ve de la figura, no ocurre detención en su crecimiento foliar en la semana 8 como ocurre con las otras 3 variedades, así como tampoco se genera crecimiento intenso en las semanas 3 y 4 como ocurre con las variedades Heritage, Manzuri y Avenger que fue la de mayor expansión foliar en ese periodo.

#### E. Análisis de varianza para área foliar

El resultado es que sí hay diferencias significativas entre las variedades ( $P = 0,001$ ), en la prueba de Kruskal-Wallis con  $\alpha = 0.05$  (cuadro 6) afirma que los cuatro cultivares de brócoli respecto de áreas foliares son diferentes, por lo tanto se acepta la hipótesis planteada para el análisis en área foliar.

<b>Cuadro 6. Resultados a partir del análisis de varianza en la prueba Kruskal-wallis en área foliar.</b>				
grupos	número	mediana	25 %	75 %
Semanas	10	5.500	3.000	8.000
Imperial	10	701.415	192.950	1406.390
Heritage	10	720.575	389.740	1264.020
Manzuri	10	786.970	389.590	1167.940
avenger	10	855.505	504.350	1255.220

#### F. Resultados de parámetros productivos.

Los resultados de peso fresco y peso seco totales y separados por órganos para los cuatro cultivares aparecen en el (cuadro 7); en peso fresco total aparecen en orden descendiente tenemos a Imperial seguida de Heritage, Manzuri y Avenger y, en peso seco el orden cambia, en primer lugar aparece Avenger seguida de Heritage, Manzuri e Imperial, observando a través del gráfico 4.

Para cada órgano en pesos frescos resulta que el orden se mantiene como en peso fresco total a excepción de peso en hoja donde Avenger pasa en tercer lugar delante de Manzuri; para pesos secos Avenger obtiene el primer lugar a excepción de peso en raíz, ocupando el cuarto lugar.

**Cuadro 7. Pesos frescos y pesos secos en gramos de cada órgano y total para cuatro cultivares de brócoli**

<b>PESO FRESCO</b>					
	TOTAL	RAÍZ	HOJA	TALLO	PELLA
IMPERIAL	1166.33	57	510.5	162.5	436.33
HERITAGE	1084.16	52.6	457.5	149.66	424.33
MANZURI	1008	45.66	421.66	120.16	420.5
AVENGER	981.88	31.88	452.44	115.88	381.66

<b>PESO SECO</b>					
	TOTAL	RAÍZ	HOJA	TALLO	PELLA
IMPERIAL	80.34	30.33	50.54	10.14	29.8
HERITAGE	125.92	32.66	48.47	16.3	28.49
MANZURI	103	26.61	34.72	12.11	29.56
AVENGER	136.41	20.77	53.36	25.25	37.8

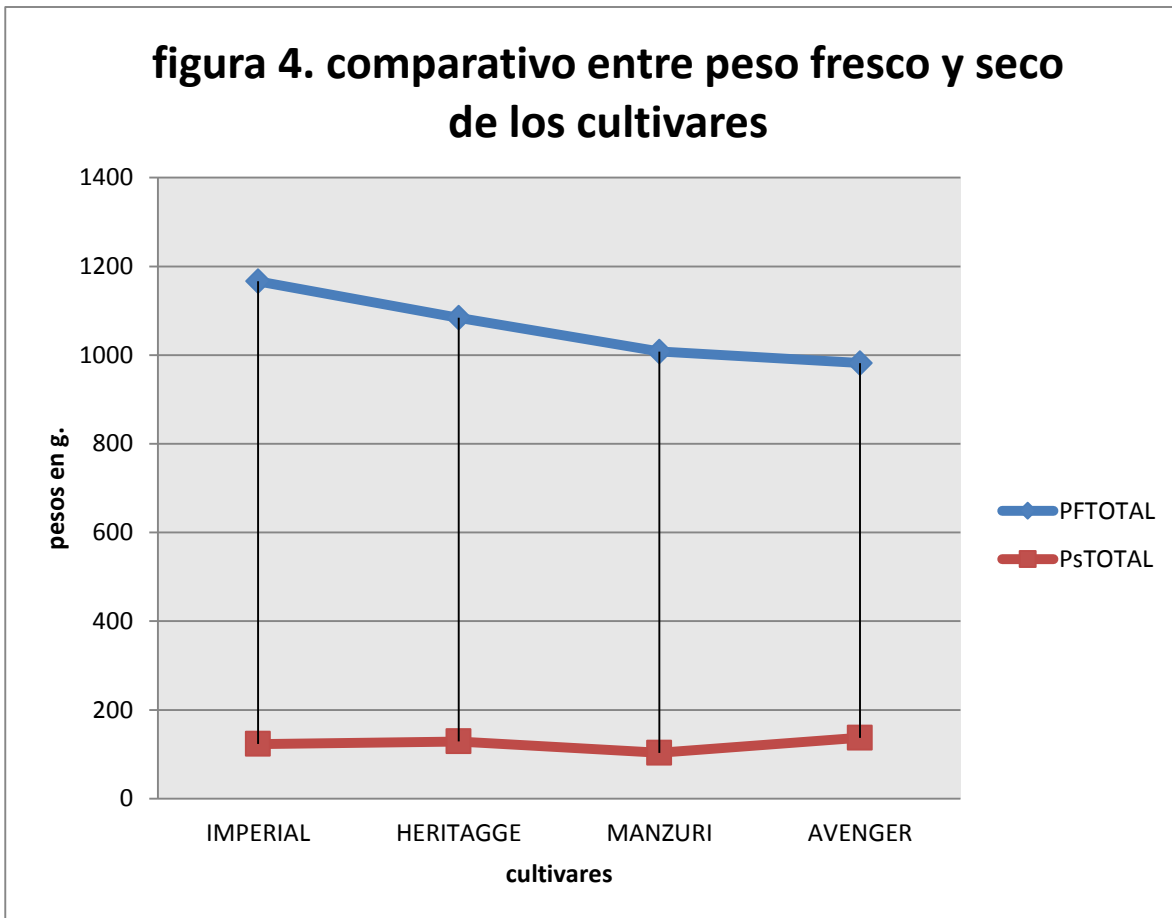


Figura 4. Comparativo entre peso fresco y seco en cuatro cultivares de brócoli

**G.**

La relación porcentual entre los pesos frescos y secos entre cada cultivar, indica que para el cultivar Manzuri el paso del agua a través de los tejidos es más eficiente y fluida hacia los órganos involucrados, mientras que Avenger responde de manera distinta al acumular un mayor porcentaje de materia seca; es decir que para fines prácticos ,el cultivar Imperial es mejor para cultivo y venta en fresco, mientras que Avenger es mejor para su conservación en frío, los otros dos cultivares son intermedias.

<b>Cuadro 8. Relación porcentual entre peso fresco, peso seco y contenido de humedad respecto de los cultivares.</b>				
Cultivares	P. FRESCO	P. SECO	(P.S./P. F.)*100	Humedad %
Imperial	1166	123	10.5	89.8
Heritage	1084	126	11.6	89.5
Manzuri	1008	103	10.2	88.4
Avenger	982	137	13.9	86.1

En la relación peso seco: peso fresco tenemos que Avenger es mejor que Heritage, que Imperial y Manzuri en ese orden y los contenidos de humedad van de 86.1, 88.4, 89.5 y 89.8 % respectivamente (cuadro 8).

En la figura 5 apreciamos los pesos frescos de las partes de la planta que en orden ascendente son raíz, tallo, pella y hoja, para los cuatro cultivares, resultando que para el cultivar Manzuri con la cantidad de peso de hoja generada se obtiene la misma cantidad de pella por lo tanto al comparar el peso con el cultivar Imperial es más robusta o más pesada que los otros cultivares.

Figura 5. Comportamiento de peso fresco de cada parte en cuatro cultivares de brócoli

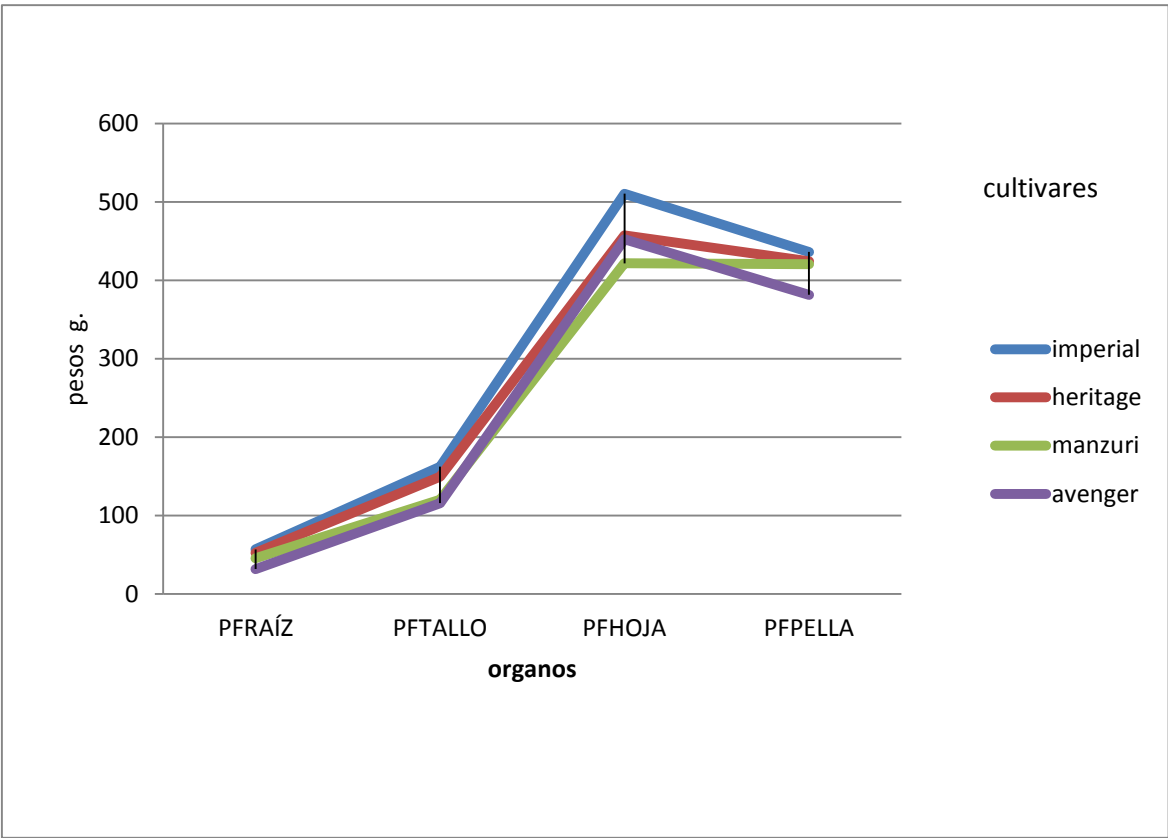


Figura 5. Relación del peso fresco obtenido entre los cultivares respecto de cada órgano.

H. Análisis de varianza en peso fresco raíz

El análisis de varianza de peso fresco de la raíz y de acuerdo al valor ( $P = < 0.001$ ) nos dice que hay diferencia significativa con un nivel de significancia de  $P=0.05$  y de acuerdo a ello, la hipótesis planteada de que existe diferencia entre cultivares se aprueba (cuadro 9).

<b>Cuadro 9. Medidas del resultado estadístico de peso fresco en raíz.</b>					
cultivares	número	media	Desv. Estandar	Error estandar	
Imperial	6	57.00	8.31	3.39	
Heritage	6	52.66	6.80	2.77	
Manzuri	6	45.66	6.83	2.78	
avenger	6	33.00	1.09	0.44	
Fuente de la variación	Distribución de frecuencia	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	Frecuencia	Probabilidad
Entre los grupos	3	1979.167	659.722	16.156	$\leq 0.001$
residual	20	816.667	40.833		
Total	23	2795.83			

<b>Cuadro 10 resultado estadístico de peso fresco en tallo.</b>				
grupos	Número datos	mediana	25%	75%
Imperial	6	149.50	143.00	166.00
Heritage	6	145.50	134.00	158.00
Manzuri	6	121.00	111.00	135.00
avenger	6	124.50	114.00	149.00

Respecto del peso fresco en tallo, para el resultado del análisis de varianza afirma que no hay diferencia estadísticamente significativa ( $P= 0.057$ ) al nivel de significancia menor de 0.05 y con ello se aprueba la hipótesis planteada cuadro 10.

El análisis de varianza para pesos frescos en hoja a través de los datos obtenidos afirma que no existe diferencia significativamente entre los cultivares ( $P=0.244$ ), al 0.05 de significancia y por lo tanto se rechaza la hipótesis planteada respecto al peso fresco de hoja (cuadro 11).

<b>Cuadro 11. Resultado estadístico de peso fresco en hoja.</b>					
grupos	número	media	Desv. estandar	Estándar Error media	
imperial	6	510.50	105.37	43.01	
Heritage	6	457.50	82.81	33.80	
Manzuri	6	421.66	41.63	16.99	
Avenger	6	499.16	81.96	33.46	
Fuente de variación	Distribución de Frecuencia	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	Frecuencia	Probabilidad
Entre grupos.	3	2978.79	9927.59	1.503	0.244
Residual	20	132065.16	6603.25		
Total	23	161847.95			

<b>Cuadro 12. Resultado estadístico de peso fresco de inflorescencia.</b>					
grupos	número	media	Desv. Estandar	Error estandar media	
Imperial	6	436.33	74.23	30.30	
Heritage	6	424.33	49.63	20.26	
Manzuri	6	420.50	55.49	22.65	
Avenger	6	384.00	74.49	30.41	
Fuente de variación	Distribución de Frecuencia	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	Frecuencia	Probabilidad
Entre grupos.	3	9160.79	3053.59	0.736	0.543
residual	20	83010.16	4150.50		

Los datos obtenidos del análisis de varianza respecto de pella o inflorescencia en peso fresco, rechazando la hipótesis planteada con una  $P \geq 0.543$  al 0.05 de confiabilidad, nos dice que no hay diferencias entre los pesos frescos de los cultivares (cuadro 12).

El resultado obtenido del análisis de varianza respecto a pesos frescos totales los datos arrojan una  $p \leq 0.189$ , asegurando que la diferencia entre el valor de las variables no son suficientemente grandes, por lo tanto no hay una diferencia significativa y se rechaza la hipótesis planteada entre los cultivares (cuadro 13).

<b>Cuadro 13. Resultado estadístico respecto de peso total en fresco de cada cultivar.</b>					
Grupos	número	media	Desv Estandar	Error estandar Media	
Imperial	6	1166.33	148.63	60.68	
Heritage	6	1084.16	113.05	46.15	
Manzuri	6	1008.00	80.55	32.88	
Avenger	6	1046.83	145.89	59.56	
Fuente de variación	Distribución de Frecuencia	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	Frecuencia	Probabilidad
Entre gpos.	3	82206.33	27402.11	1.750	0.189
residual	20	313232.00	15661.75		

Resultados en peso seco para raíz, tallo, hoja y pella en los cuatro cultivares.

A través del estudio realizado para determinar el peso seco dentro de cada órgano (raíz, tallo, hoja e inflorescencia) de la planta de brócoli siendo esta última de gran importancia, como la parte comestible o comercial en este caso también conocida

como pella, así a nivel producción; el comportamiento de Avenger en pesos frescos con valores más bajos respecto de Imperial, Heritage y Manzuri comportándose éstas tres últimas de manera muy similar pero con los datos más bajos respecto de Avenger en peso seco de pella. Durante la etapa final la cantidad de humedad perdida en particular para raíz, tiene efecto de mayor peso representado en gramos a partir del cultivar heritage, seguida de imperial, manzuri y avenger respectivamente. El análisis de peso seco para tallos está demostrado a través del comportamiento para cada cultivar en orden de desarrollo decreciente comenzando con Avenger, Heritage, Manzuri e Imperial. Observando mediante los datos del cuadro 3 que la variedad Avenger obtiene el valor de mayor cantidad de agua en hojas, las variedades Imperial y Heritage muestran tener muy poca o ninguna diferencia entre ellas dos, por otra parte si existen diferencias entre Manzuri y Avenger, y para Manzuri, Imperial y Heritage existen diferencias, el cultivar Avenger tiene resultados altos para peso seco de pella, mostrándose ante los demás como un cultivar de cosecha temprana y menor contenido de agua dentro de sus tejidos.

I. Resultado Estadístico de peso seco por órganos.

El análisis de varianza para raíz en pesos secos muestra datos con diferencias significativas ( $P=.018$ ) al nivel de 5 % de confianza y para este parámetro de ese modo, se aprueba la hipótesis planteada en este parámetro (cuadro 14).

<b>Cuadro 14. Medidas en base al resultado estadístico de peso seco en raíz respecto de los cultivares.</b>					
cultivares	número	media	Desv. Estandar	Standar Error Media	
Imperial	6	30.50	6.72	2.7	
Heritage	6	32.66	8.79	3.5	
Manzuri	6	26.61	5.38	2.1	

avenger	6	19.37	6.37	2.6	
Fuente de variación	Distribución de Frecuencia	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	Frecuencia	Probabilidad
Entre gpos.	3	613.70	204.56	4.25	0.018
residual	20	961.08	48.05		

Para tallo en pesos secos, el análisis de varianza muestra diferencias altamente significativas ( $P < 0.001$ ), y por lo tanto, se aprueba la hipótesis al existir diferencias entre los cultivares (cuadro 15).

<b>Cuadro 15. Medidas en base al resultado estadístico de peso seco en tallo respecto de los cuatro cultivares.</b>					
Cultivares	número	media	Desv. Estandar	Standar Error Media	
Imperial	6	12.09	2.8	1.18	
Heritage	6	19.25	8.3	3.4	
Manzuri	6	12.11	4.39	1.79	
avenger	6	32.36	8.97	3.66	
Fuente de variación	Distribución de Frecuencia	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	Frecuencia	Probabilidad
Entre gpos.	3	1641.75	547.25	12.314	$\leq 0.001$

El resultado del análisis de peso seco en hoja, nos dice que presenta diferencias significativas de ( $P=0.011$ ) entre los cultivares, aprobando de ese modo la hipótesis planteada entre los cultivares (cuadro 16).

<b>Cuadro 16. Medidas estadísticas en base a peso seco en hoja respecto de los cuatro cultivares.</b>					
Cultivares	Número datos	media	Desv. Estandar	Standar Error Media	
Imperial	6	50.54	9.44	3.85	
Heritage	6	48.47	7.08	2.89	
Manzuri	6	34.72	14.49	5.91	

avenger	6	58.82	12.36	5.04	
Fuente de variación	Distribución de Frecuencia	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	Frecuencia	Probabilidad
Entre gpos.	3	1801.44	600.48	4.779	0.011

Para pesos secos de pella, el análisis de varianza ( $p=0.053$ ) arroja el resultado de no existencia de diferencias significativas y por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para este parámetro (cuadro 17).

<b>Cuadro 17. Medidas estadísticas en base a peso seco en pella respecto de los cuatro cultivares.</b>					
Cultivares	Num. datos	Media	Desv. Estandar	Standar Error Media	
Imperial	6	29.80	5.45	2.2	
Geritage	6	28.49	6.87	2.80	
Manzuri	6	29.56	6.97	2.8	
avenger	6	39.06	8.1	3.3	
Fuente de variación	Distribución de Frecuencia	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	Frecuencia	Probabilidad
Entre grupos	3	436.43	145.47	3.036	0.053

## Resultados de modelos matemáticos

Modelo logístico original:

$\frac{dp}{dt} = rP \left(1 - \frac{P}{K}\right)$  con  $r$  la razón de crecimiento y  $k$  la “capacidad de carga” del entorno asociado a la población (u otra variable)  $P$ (valor máximo que puede alcanzar esta variable),

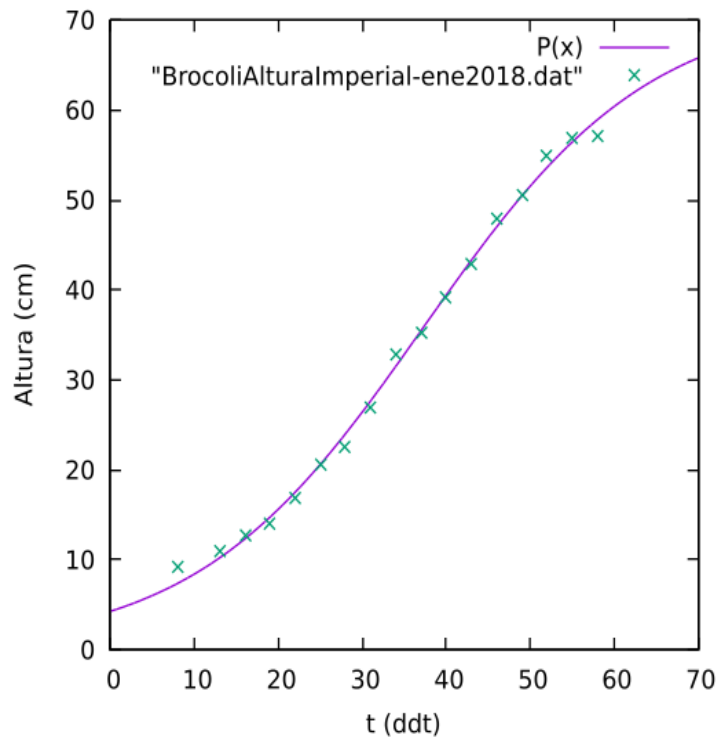
cuya solución exacta es

$$(1)P(t) = \frac{KP_0e^{rt}}{K+P_0(e^{rt}-1)}$$

donde  $P_0$  el valor de inicio a  $t = 0$  estimado a partir de los datos (este dato no aparece en la tabla).

Ajuste de parámetros de altura de Brócoli Imperial (en este caso  $P$  es la altura en la expresión (1)):

K	= 71.637	+/- 2.808	(3.92%)
Po	= 4.29427	+/- 0.3716	(8.653%)
r	= 0.0738599	+/- 0.003641	(4.93%)

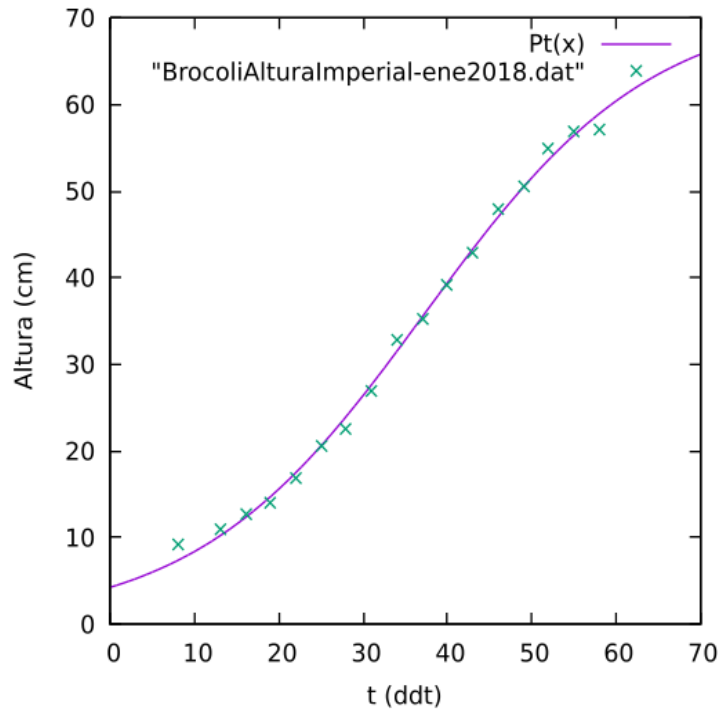


Con el fin de ajustar mejor el valor inicial  $P_0$  se ajustó la función modificada

$$P_{\tau}(t) = \frac{K_{\tau}P_0e^{r_{\tau}(t-\tau)}}{K_{\tau}+P_0(e^{r_{\tau}(t-\tau)}-1)} \quad (2)$$

Con  $\tau = 8$  que es el valor inicial de los datos presentados

$K_\tau$	= 71.6353 +/- 2.809 (3.922%)
$P_0$	= 7.39618 +/- 0.4392 (5.938%)
$r_\tau$	= 0.0738623 +/- 0.003641 (4.93%)



en este caso  $P_0$  corresponde al valor de  $P$

en  $t = 8$ .

El modelo reescrito (ver fertirriego, P. Sánchez)

$$\frac{dW}{dt} = r_w \frac{W}{A} (A - W)$$

cuya solución es

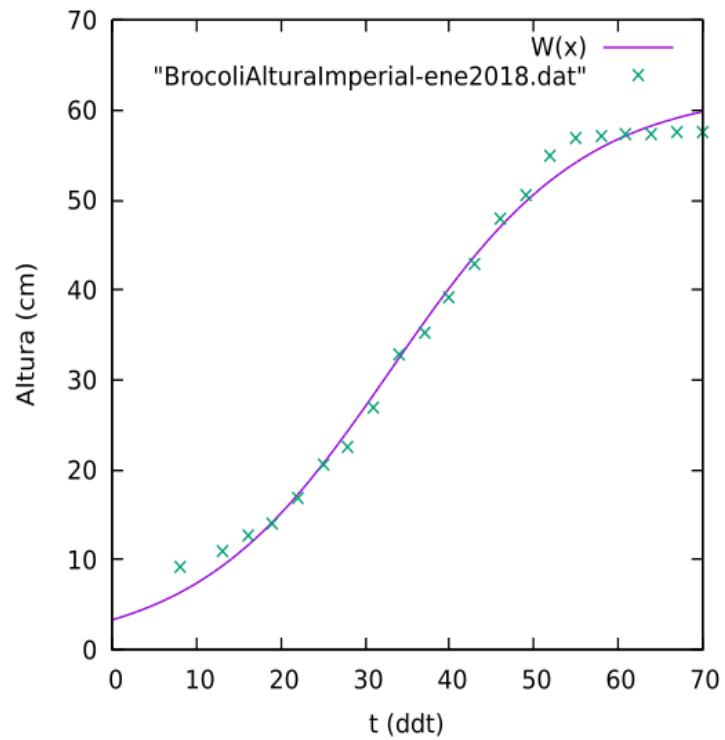
$$W(t) = \frac{A}{1 + \eta e^{-r_w t}}$$

con  $\eta = \frac{W_\infty - W_0}{W_0} = \frac{A - W_0}{W_0}$  dado que  $\lim_{t \rightarrow \infty} W(t) = A$  define el valor máximo que puede alcanzar  $W(t)$ .

A	= 62.2181	+/- 1.321	(2.123%)
eta	= 17.5208	+/- 2.156	(12.31%)
rw	= 0.0866875	+/- 0.004717	(5.442%)

Para el caso de Brócoli Imperial:

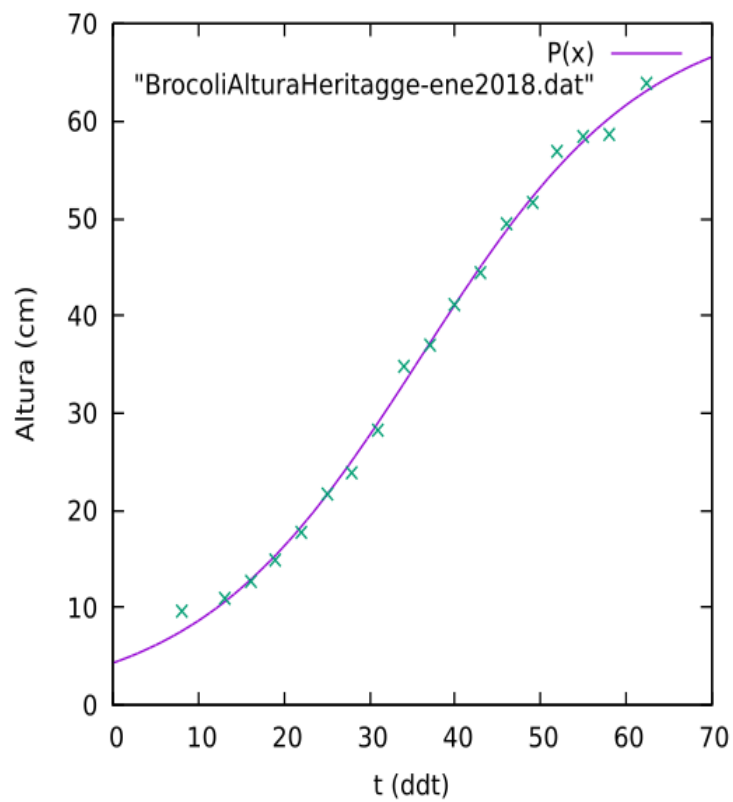
Parámetros de la solución (3)



## Caso Heritage

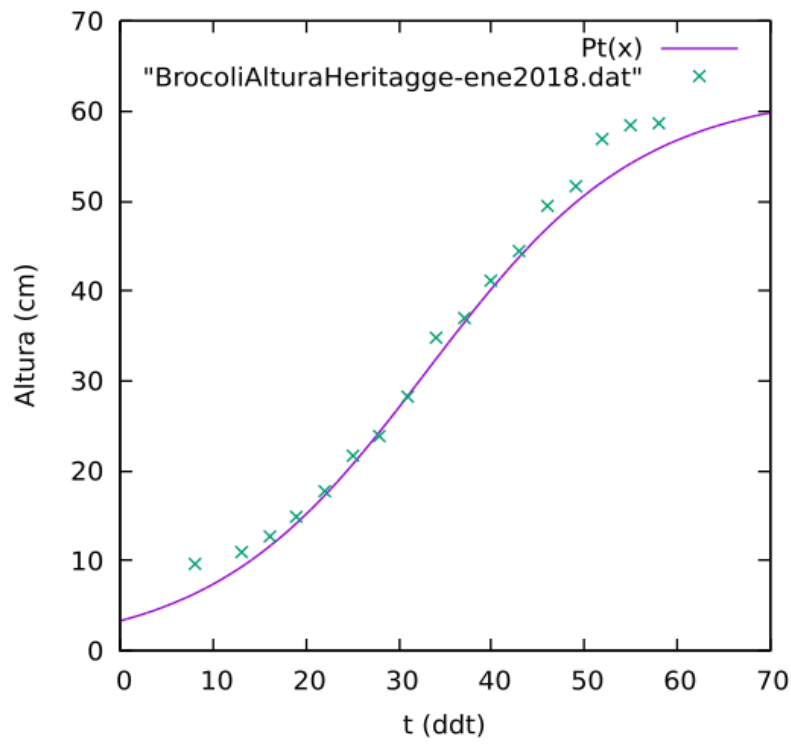
### Parámetros de la solución (1)

K	= 71.6183	+/- 2.645	(3.693%)
Po	= 4.35805	+/- 0.3927	(9.011%)
r	= 0.0759221	+/- 0.003807	(5.015%)



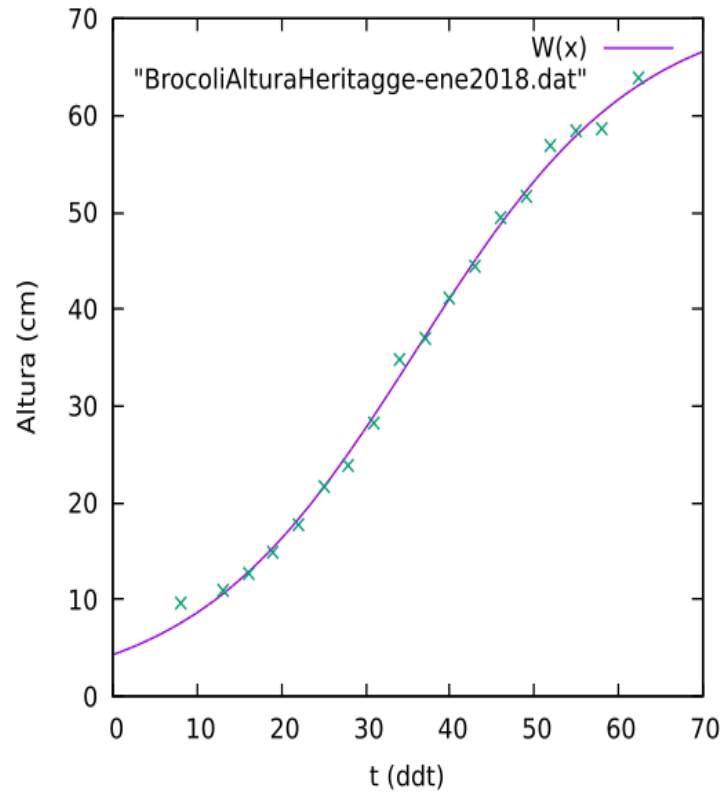
Parámetros de la solución (2)

Kt	= 62.2171	+/- 1.321	(2.123%)
Pot	= 6.37572	+/- 0.5809	(9.111%)
rt	= 0.0866935	+/- 0.00471	(5.433%)



Parámetros de la solución (3)

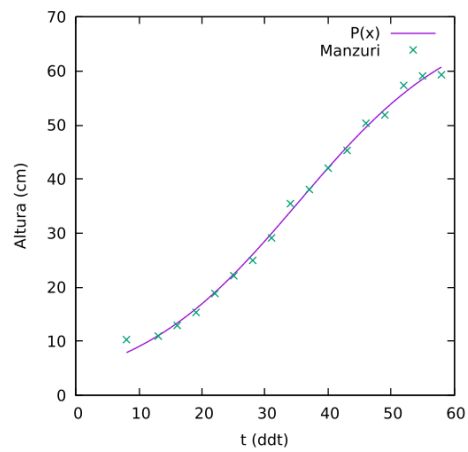
A	= 71.619	+/- 2.645	(3.693%)
eta	= 15.4332	+/- 1.096	(7.101%)
rw	= 0.0759208	+/- 0.00381	(5.019%)



## Caso Manzuri

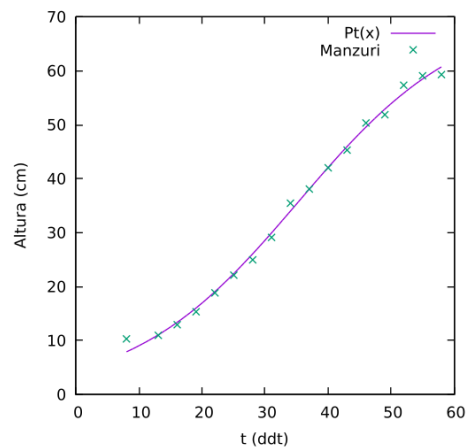
- fórmula (1)

K	= 71.5077	+/- 2.421	(3.386%)
Po	= 4.53998	+/- 0.3859	(8.5%)
r	= 0.0761903	+/- 0.003636	(4.772%)



- fórmula (2)

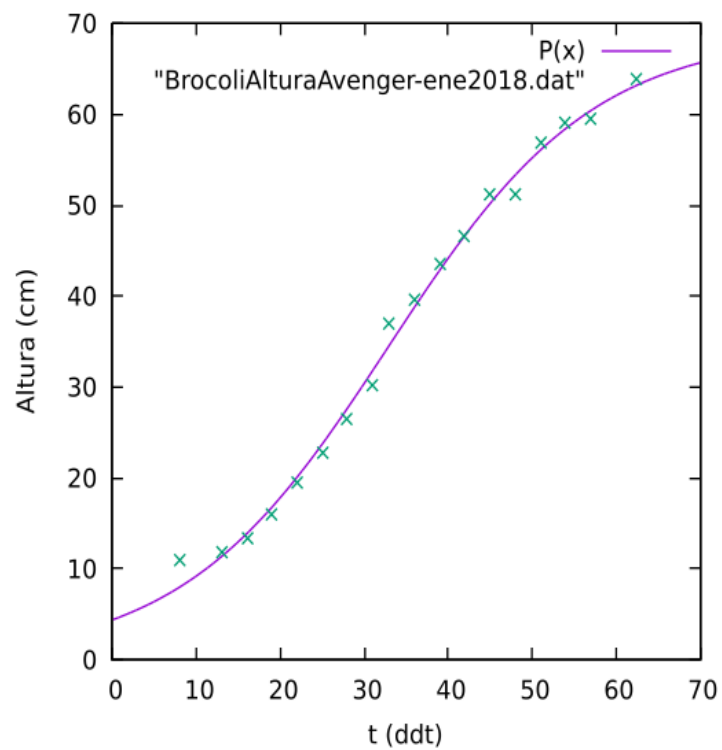
Kt	= 71.5067	+/- 2.422	(3.387%)
Pot	= 7.92872	+/- 0.4578	(5.774%)
rt	= 0.0761919	+/- 0.003636	(4.772%)



## Caso Avenger

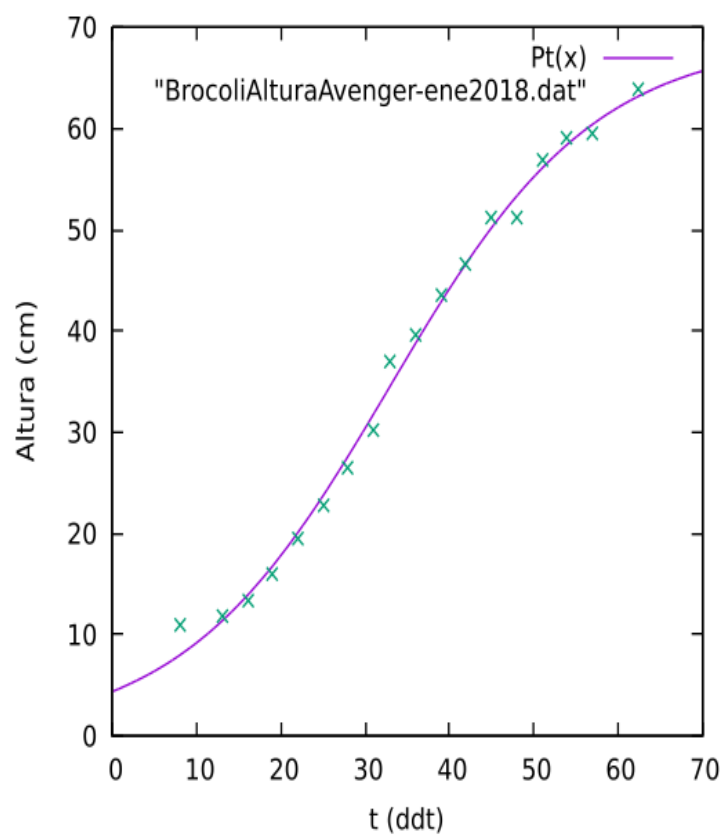
### Parámetros de la solución (1)

K	= 68.8413	+/- 2.647	(3.846%)
Po	= 4.41721	+/- 0.5111	(11.57%)
r	= 0.081549	+/- 0.00504	(6.181%)



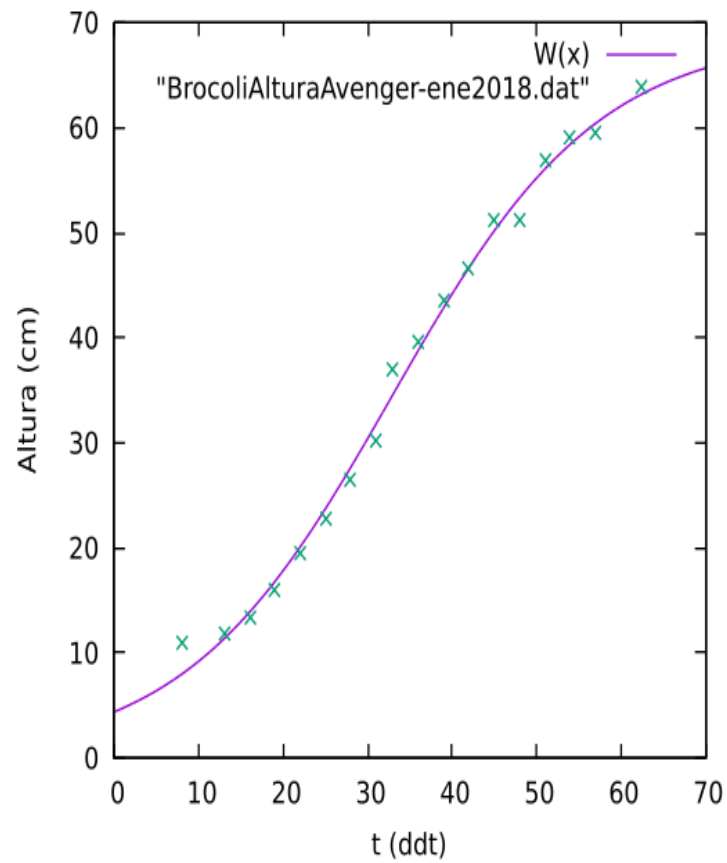
Parámetros de la solución (2)

Kt	= 68.84	+/- 2.648	(3.847%)
Pot	= 8.0085	+/- 0.6197	(7.738%)
rt	= 0.0815516	+/- 0.00504	(6.18%)



Parámetros de la solución (3)

A	= 68.842	+/- 2.648	(3.846%)
eta	= 14.5841	+/- 1.418	(9.725%)
rw	= 0.0815468	+/- 0.005045	(6.187%)

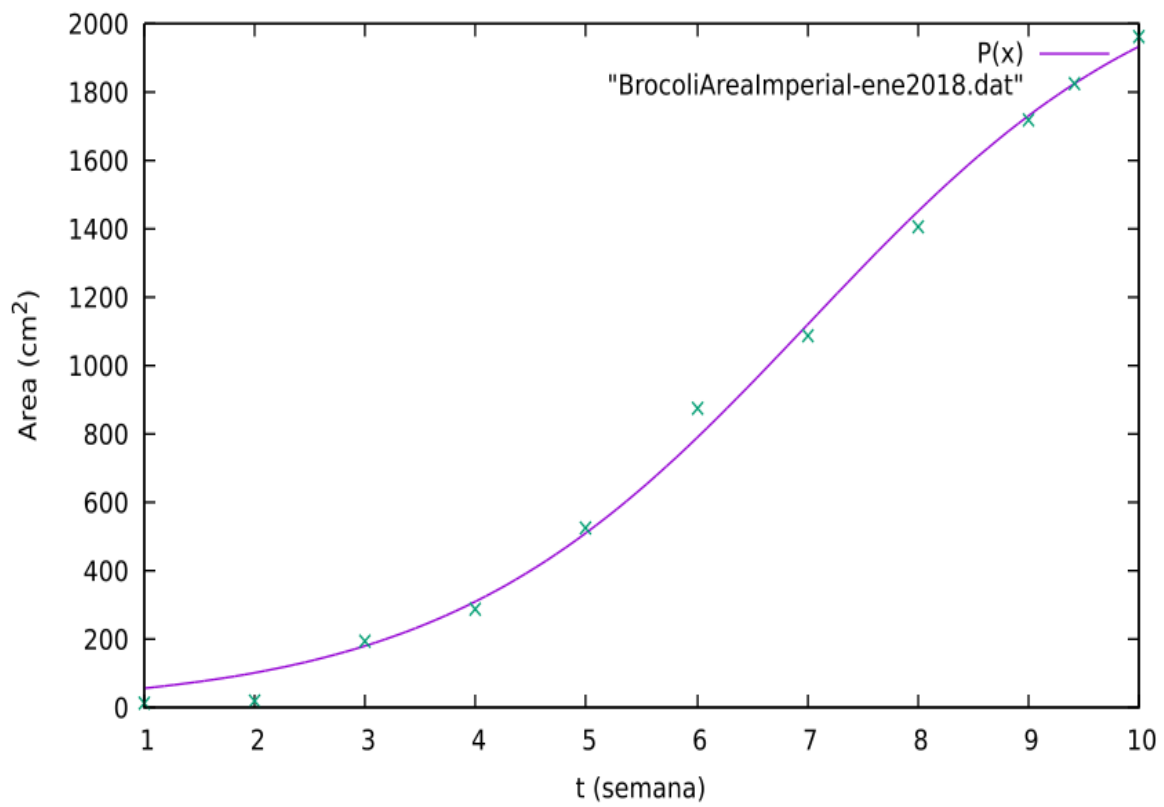


# ÁREA FOLIAR

Caso Imperial

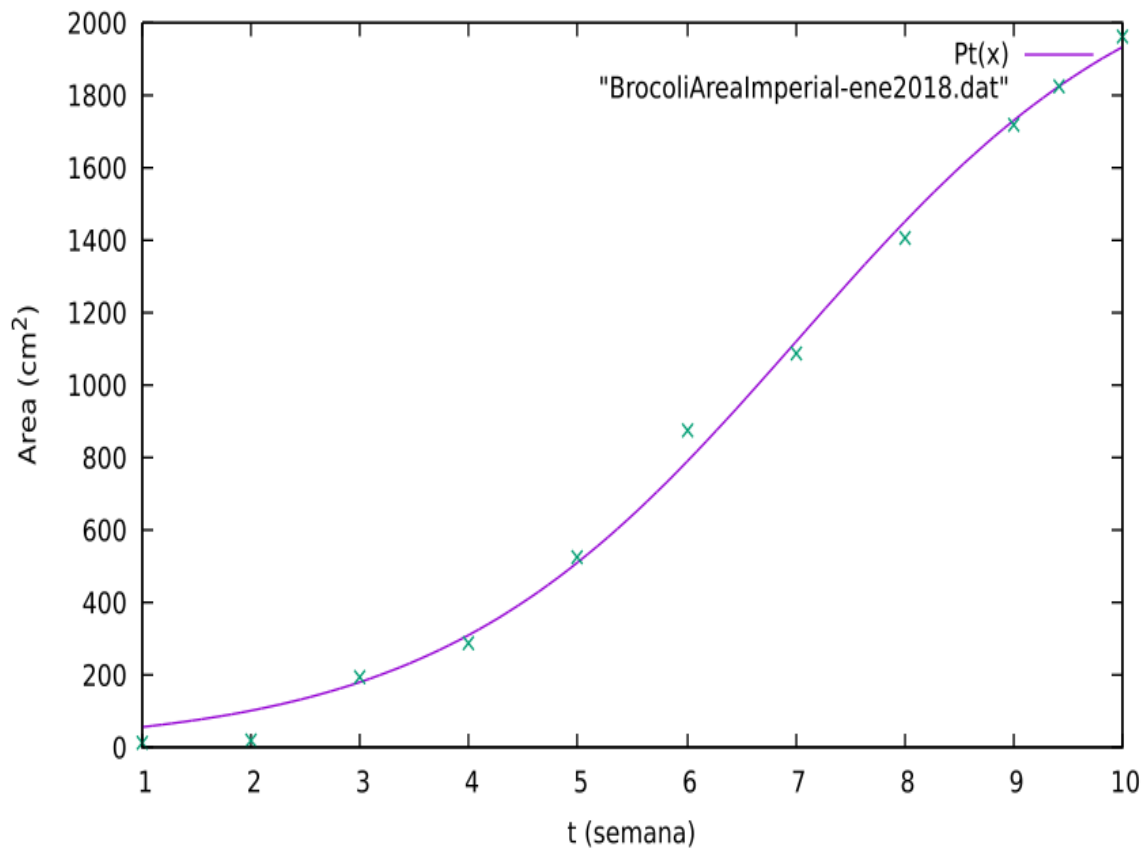
fórmula (1)

= 2250.79	+/- 138.5	(6.155%)
= 31.5049	+/- 9.25	(29.36%)
= 0.606361	+/- 0.05328	(8.786%)



Fórmula (2) (para la fórmula (2), en todos los casos,  $t = 1$ )

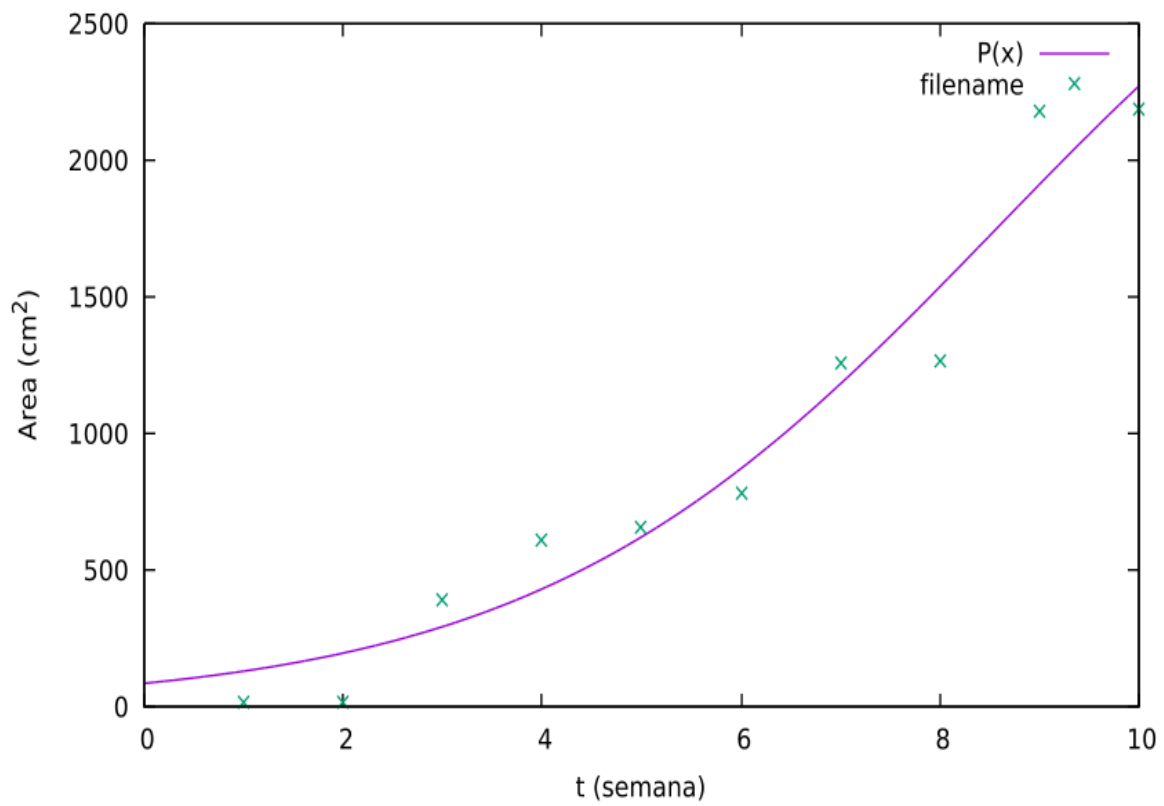
= 2250.84	+/- 138.6	(6.158%)
= 57.1094	+/- 13.72	(24.02%)
= 0.606343	+/- 0.05326	(8.784%)



## Caso Heritage

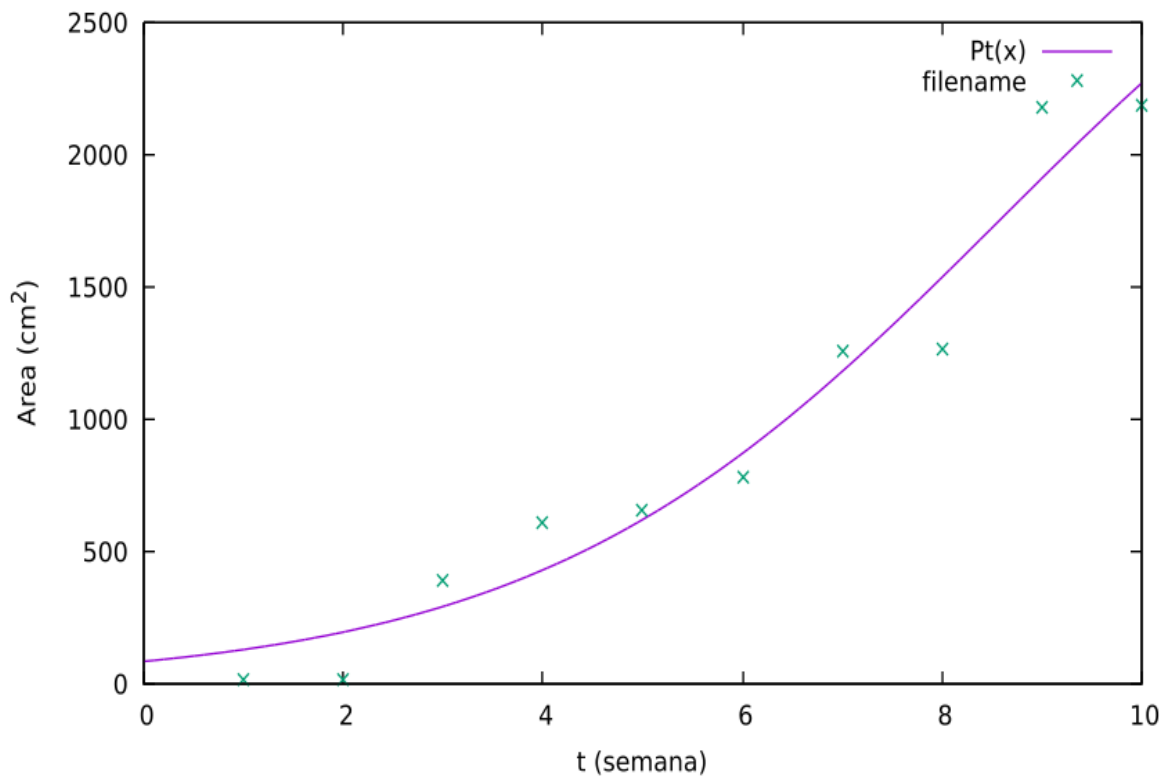
- Fórmula (1)

= 3503.46	+/- 1558	(44.47%)
= 86.351	+/- 56.79	(65.77%)
= 0.429036	+/- 0.1306	(30.43%)



Fórmula (2)

= 3500.62	+/- 1555	(44.42%)
= 130.755	+/- 69.77	(53.36%)
= 0.429294	+/- 0.1306	(30.43%)

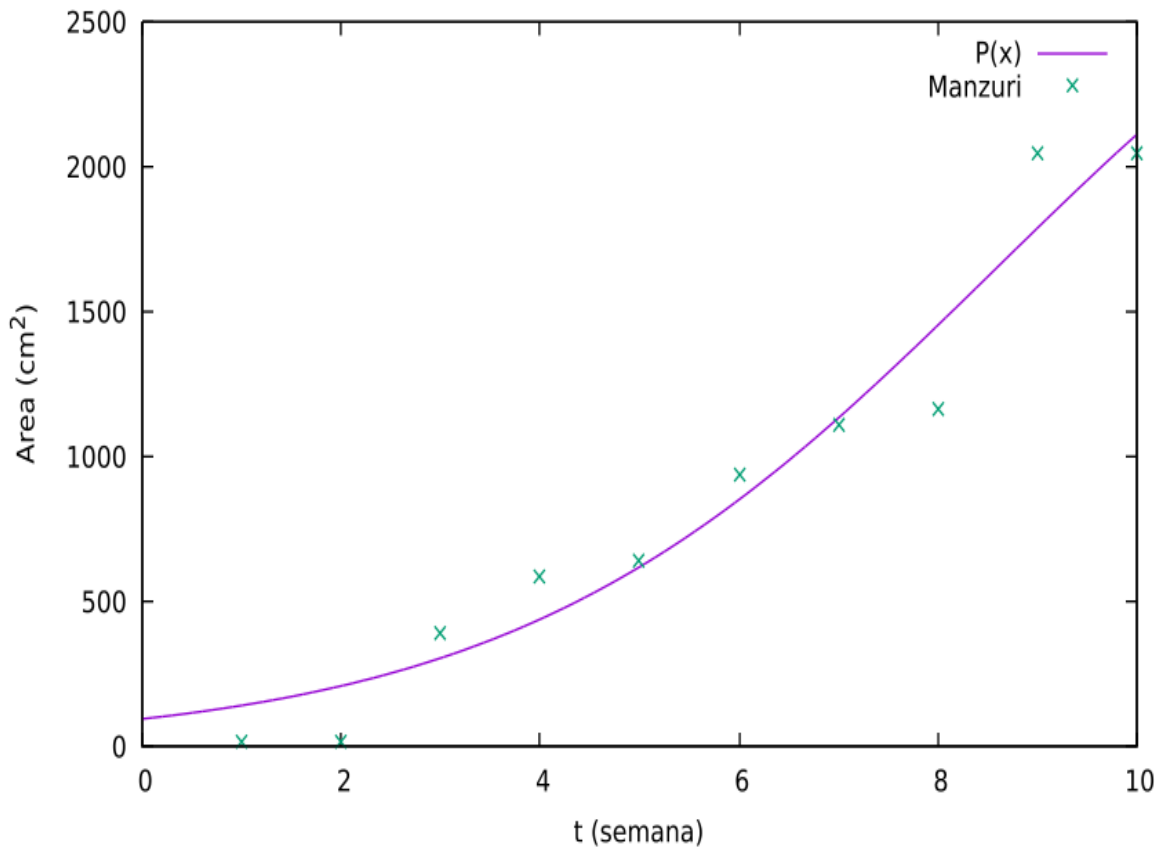


La fórmula (3) al parecer diverge por los valores numéricos grandes... los datos quedan muy dispersos respecto a la sigmoide (¿errores al medir? ¿Técnica de medición? ¿Variaciones de otro tipo?...): errores enormes en los ajustes

Caso Manzuri

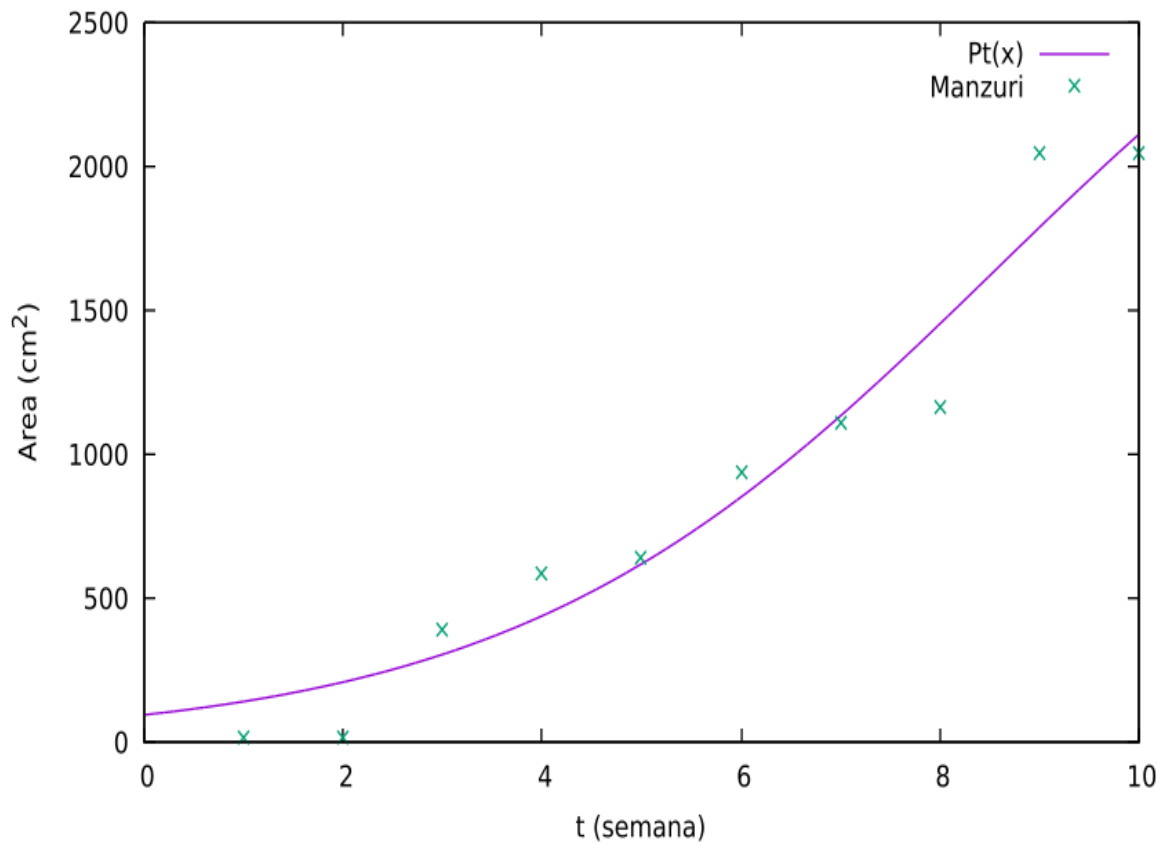
- fórmula (1)

= 3286.76	+/- 1560	(47.47%)
= 95.9296	+/- 60.73	(63.3%)
= 0.409099	+/- 0.1308	(31.97%)



Fórmula (2)

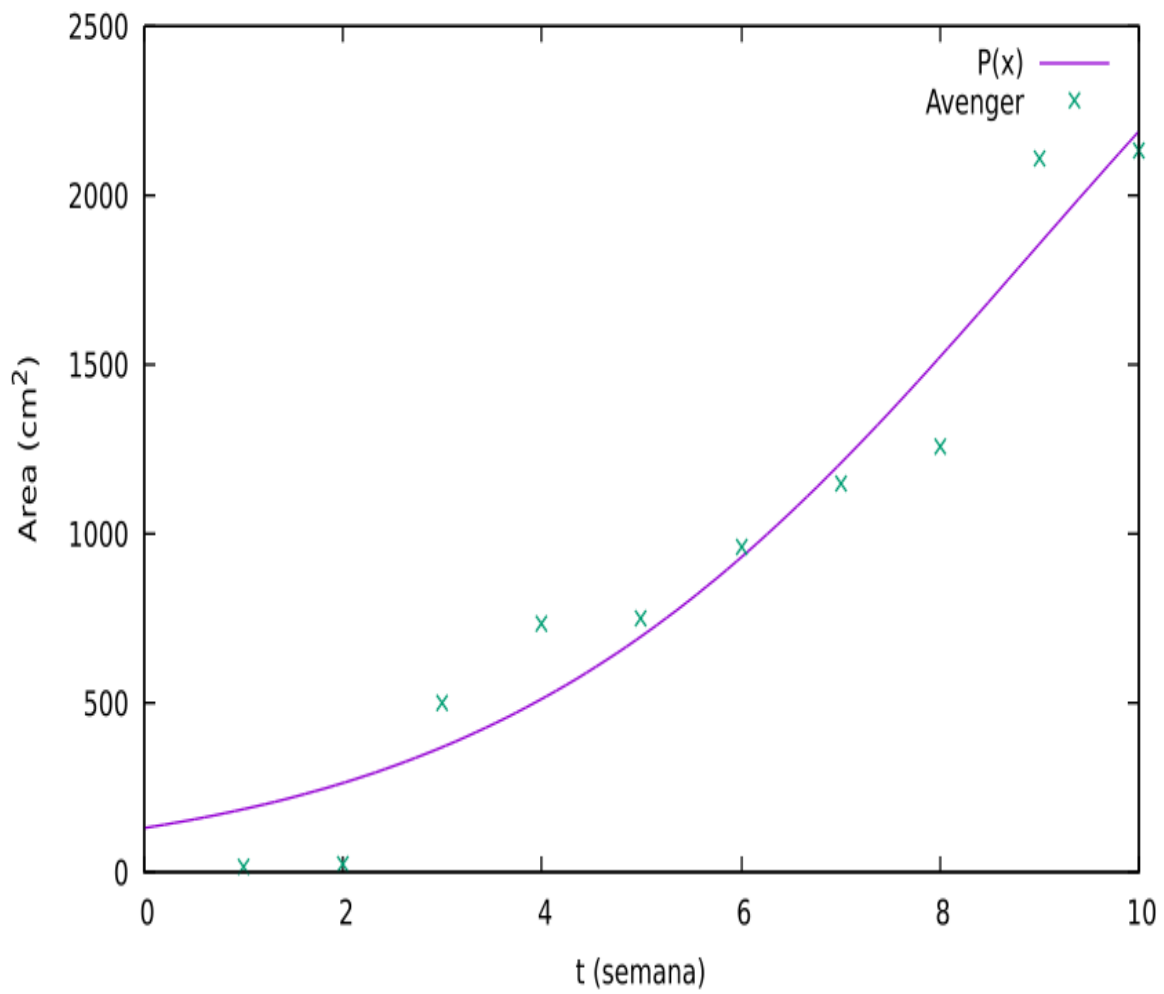
= 3287.44	+/- 1562	(47.51%)
= 142.354	+/- 72.59	(50.99%)
= 0.409035	+/- 0.1308	(31.98%)



Caso Avenger

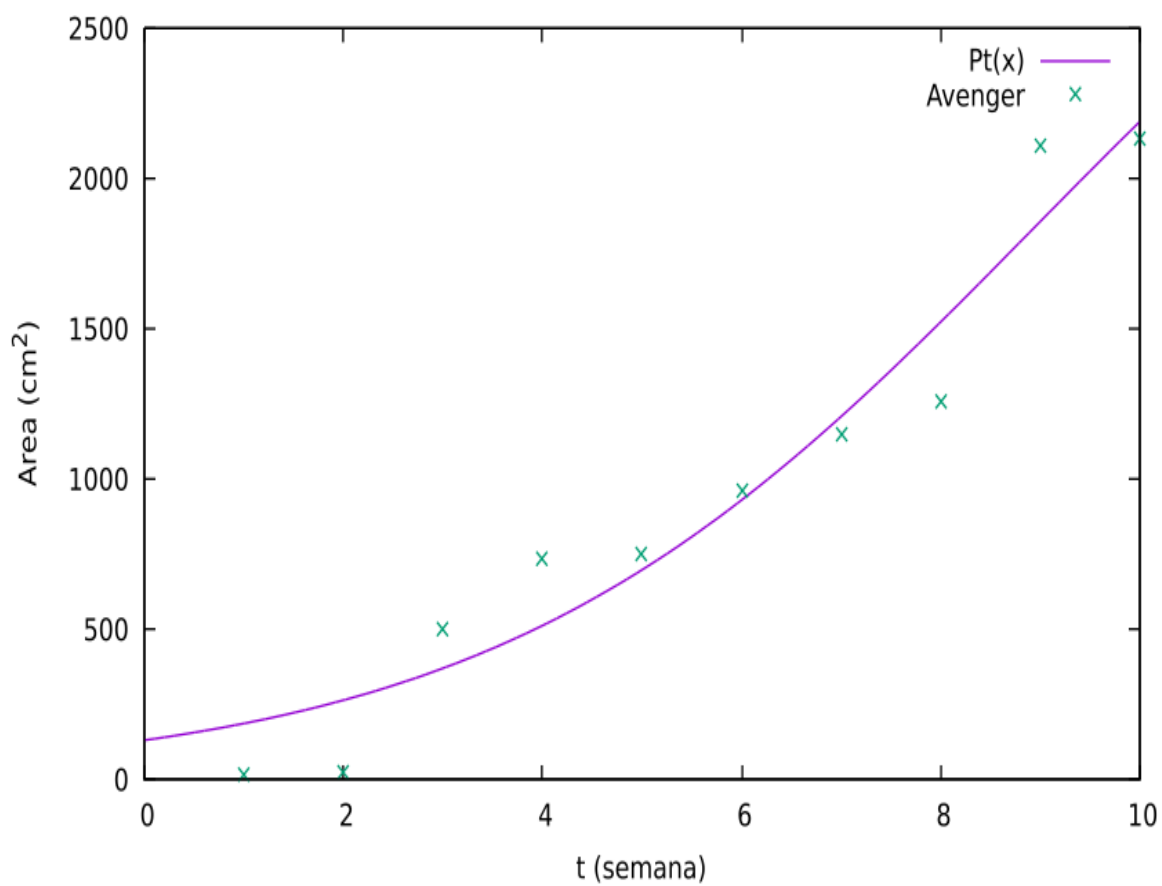
Formula 1

= 3657.08	+/- 2226	(60.86%)
= 131.675	+/- 79.04	(60.02%)
= 0.368759	+/- 0.1329	(36.04%)



Fórmula (2)

= 3654.39	+/- 2222	(60.79%)
= 187.251	+/- 89.77	(47.94%)
= 0.368953	+/- 0.1329	(36.03%)



## DISCUSIÓN

Al observar el comportamiento en la variable de altura de los cuatro cultivares de brócoli a través de los resultados en el análisis estadístico al presentar diferencias significativas, al aceptar que los cuatro cultivares de brócoli en cuanto a alturas no son diferentes, por lo tanto se rechaza la hipótesis planteada para la variable altura.

Para la variable altura podemos deducir que los cultivares se encuentran en relación muy estrecha en cuanto a crecimiento, desarrollo similar, afectando el desarrollo de heritage, manzuri y avenger en algún momento como los cultivares más susceptibles al pulgón (*Aphis fabae*) mientras que Imperial resiste más, por lo tanto podemos indicar que los cultivares se comportan de tal manera que la curva de crecimiento sigmoideal como los trabajos de estimación en crecimientos con precisión.

Aun así, los resultados de Cayambe, 2015 al comparar doce variedades de brócoli a través de la variable altura para efecto de dosis en la fertilización, medidos a partir del día 15 ddt y el día 60 ddt reporta datos menores a nuestro trabajo; de la misma manera Valencia en 2014 en la comparación ante fertilización en la variedad domador, reporta datos menores con promedios en alturas tomados a partir de los 45 ddt de 13.81 cm, a los 60 ddt con 23.11cm, a los 75ddt con 35.93 cm y a los 90ddt con 44.20 cm.

En el parámetro vegetativo área foliar, observamos ciertas diferencias de comportamiento entre los cuatro cultivares, a través del gráfico la predicción se hace más evidente la relación entre Heritage, manzuri y avenger como cultivares que muestran características en el incremento de materia foliar en constante

aumento hasta la aparición de las primeras inflorescencias, momento a partir del cual disminuyó debido a la competencia con las inflorescencias por fotoasimilados.

Generando una sigmoide de crecimiento similar, mientras que el cultivar Imperial se comporta de distinta manera al producir la menor cantidad de materia foliar en comparación con las otras tres. Generando una sigmoide propia del cultivar en relación con los demás cultivares, considerándola ante el resto de los tres cultivares como un cultivar de rendimientos altos y siembra tardía.

Elías Ogáldez y Mijangos, 2001 analizan la efectividad de compuestos orgánicos y dosis de vermi compost en un cultivo de brócoli obteniendo a través de la medición de área foliar datos menores de los resultados reportados a nuestro trabajo, es decir a partir del área foliar tomada de la quinta hoja en la variedad Itálica (I x a x 1.32) registran a los 30 dds 150 cm<sup>2</sup> a los 60dds con 427.9 cm<sup>2</sup> y a los 85 dds con 874.5 cm<sup>2</sup> con el tratamiento más alto.

Casierra, 2009 en base a los resultados de la prueba tukey, muestran diferencias significativas las variables Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) y opacidad en relación a cobertura de colores sobre la variedad Itálica dentro de las mediciones de crecimiento obtiene la altura y área foliar al momento de cosecha con resultados menores a los de nuestro trabajo en promedio un área foliar de 580.17 cm<sup>2</sup>.

Mientras que los resultados que obtuvimos de las mediciones en área foliar fueron mayores para el cultivar avenger a partir de los 30 ddt con 586.40 cm<sup>2</sup>, a los 60 ddt con 962 cm<sup>2</sup> y a los 85 ddt con 2110 cm<sup>2</sup>.

A través de los resultados estadísticos evaluados para la variable área foliar podemos decir que existen diferencias significativas entre los cuatro cultivares de brócoli, por lo tanto la hipótesis planteada es aceptada.

*Relación peso fresco y peso seco total.*

El comportamiento de los cultivares para la variable peso fresco total, en el (gráfico 4) si lo vemos de manera descendente tenemos al cultivar Imperial seguido de Heritage, Manzuri y Avenger, para la variable peso seco el orden cambia, en primer lugar aparece Avenger seguida de Heritage, Manzuri e Imperial;

El análisis de varianza para pesos frescos asegura que la diferencia entre el valor de las variables no son suficientemente grandes, por lo tanto no hay una diferencia significativa y se rechaza la hipótesis planteada para este parámetro.

Jiménez *et al*, 2005 a través de la fertilización en dos sistemas de manejo para riego obtienen respuesta favorable ante fertirrigación con un peso total de 1820 g vs convencional de 1337 g. resultados muy parecidos a nuestros datos.

Carranza *et al*, 2006 determinan en el estudio de la tasa de crecimiento diario y entre otros, el efecto sobre una variedad de brócoli coronado y un repollo las estructuras que actúan como demandas (tallos y hojas) redistribuyen sus asimilados hacia los órganos reproductivos en formación y posteriormente para llenado, el 32% de los fotoasimilados para la hoja, el 9% el tallo y estos asimilados a su vez son distribuidos a la raíz (19%) y la flor (22%).

Dicho porcentaje de humedad obtenido nos da un total de 82 %. Obteniendo datos menores a los de nuestro trabajo con un mínimo de 86.3 % para el cultivar avenger y máximo de 89 % para la variedad para imperial.

La relación porcentual entre los pesos frescos y secos de cada variedad nos permite decir que el cultivar Manzuri absorbe más agua en sus tejidos mientras que Avenger tiene mayor acumulación de materia seca, que para fines prácticos, nos permite decir que el cv. Imperial es mejor para cultivo y venta en fresco, mientras que Avenger es mejor para su conservación en frío, los otros dos cultivares son intermedias.

#### *Relación de cultivares por órganos.*

De acuerdo a los datos obtenidos del resultado de pesos frescos en hojas, podemos decir que los cultivares imperial y manzuri obtienen la mayor cantidad de fotoasimilados en comparación con heritage y avenger con diferencias no muy grandes. El resultado análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada en relación a los cuatro cultivares.

A través de los resultados obtenidos para peso fresco en raíz en los cuatro cultivares con un peso promedio de 40.833 g, una acumulación y absorción de agua, sus estructuras son de mayor peso entre los cultivares imperial, heritage y manzuri, mientras que avenger genera raíces muy delgadas y de menor peso.

El análisis de varianza de peso fresco de la raíz nos dice que existen diferencias significativas con un nivel de significancia alto y de acuerdo a ello, la hipótesis planteada se aprueba.

La relación de pesos frescos en tallos resulta de los datos mayores para los cultivares imperial y heritage es decir sus estructuras mantienen y regulan el paso

de nutrientes con mayor espacio entre las paredes celulares, mientras que manzuri y avenger presentan menor peso en gramos.

El resultado estadístico de peso fresco en tallo, acepta que existen diferencias significativas entre las cultivares con ello se aprueba la hipótesis planteada.

En relación al peso fresco en pella obtenido en gramos por cultivar imperial es el de mayor peso con 436.33 g respecto heritage con 424.33 g, manzuri y avenger; Jiménez et al, 2005 obtienen menores resultados al nuestro de 277.9 g. del peso fresco en pella sobre manejo con fertirriego del cultivar heritage.

Linzmayr, 2004 al estudiar fechas de siembra y trasplante en tres variedades de brócoli (Green belt, arcadia y patriot), obtiene sobre los resultados estadísticos el mayor peso fresco en pella de 291.26 g. para la variedad Green belt que en comparación con nuestro trabajo imperial tiene 436.33 g.

Casierra *et al*, 2009 al estudiar el efecto en la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) y opacidad respecto de coberturas de colores utiliza mediciones productivas entre ellas el peso fresco de pella en la var. Itálica reportando datos estadísticos menores a los nuestros con un peso fresco en pella de 166.97g.

Rosero, 2014 a través de los resultados en peso de cada cultivar y sin diferencias entre cultivares obtiene resultados similares a los de nuestro trabajo para Batavia con 420 g, legacy 400 g, Mónaco 370 g y avenger con 360 g. de la misma manera el cultivar avenger cuenta con los menores resultados.

Ante diferentes dosis de fertilización con boro y nitrógeno para el cultivar avenger la mejor dosis Telenchana, 2015. Obtiene un peso en pella de 336g datos menores a los reportados en nuestro trabajo.

Para pella también se rechaza la hipótesis planteada ya que de acuerdo al análisis de varianza, nos dice que no hay diferencias para este parámetro.

### *Rendimientos y producción.*

Vislao, 2013 el resultado a través de la aclimatación de 12 híbridos y potencial de producción en brócoli, descubre que los cultivares avenger, Legacy y Mónaco cuentan con excelentes resultados para la agroindustria; este trabajo arroja el rendimiento en pella/ha siendo avenger el cultivar de mayor rendimiento con 19.87kg datos menores a los reportados en nuestro trabajo para el cultivar imperial con 39,000.00 ton/ha.

Telenchana, 2015 obtiene menores rendimientos de 22,882.93 ton/ha con los datos más altos ante la fertilización B y N, dichos resultados son menores a los reportados en nuestro trabajo para el cultivar imperial con 39,000.00 ton/ha.

Los resultados de peso seco total respecto de cada cultivar se comportan de la siguiente manera: avenger con los mayores pesos en comparación con heritage, manzuri e imperial con 137 g; Casierra 2009 obtiene datos estadísticos menores al nuestro con 106.62 g. de la variedad Itálica.

Rosero, 2014 obtienen menores rendimientos, para el cultivar Batavia con 29,392.36 ton/ha, legacy con 27,656.2ton/ha, Mónaco con 25,572.9ton/ha y para avenger 24,756.92 ton/ha.

Tal vez, desde el punto de vista del productor o del agrónomo y de acuerdo a los rendimientos registrados, transferidos estos a ton/ha con la densidad de población de 90 000 pl/ha, nos encontraríamos con rendimientos de 39, 38, 37 y 34 ton/ha respectivamente de Imperial, Heritage, Manzuri y Avenger y entonces, las diferencias ya no son tan triviales.

*Resultados estadísticos de pesos secos de cada órgano para los cuatro cultivares.*

El análisis de varianza para pesos secos, nos indica una diferencia estadísticamente significativa, por lo tanto, en este parámetro se acepta la hipótesis planteada.

Durante la etapa final la cantidad de humedad perdida en particular para raíz, tiene efecto de mayor peso representado en gramos a partir del cultivar heritage, seguida de imperial, manzuri y avenger respectivamente.

El análisis de varianza para raíz en pesos secos arroja diferencias significativas, se aprueba la hipótesis planteada en este parámetro.

El análisis de peso seco para tallos muestra comportamientos para cada cultivar en orden de resultados decreciente comenzando con avenger, de 25.25g., heritage, manzuri e Imperial datos reportados por Rincon et al, 2000 sobre el crecimiento y absorción de nutrientes para el cultivar marathón con resultados menores a los de nuestro trabajo.

Para tallo en pesos secos, el análisis de varianza muestra diferencia altamente significativa, y por lo tanto, se aprueba la hipótesis para este parámetro o que sí existe diferencia entre variedades.

Observando que el cultivar avenger obtiene el valor de mayor cantidad de agua en hojas con 53.33 g respecto de imperial, heritage y manzuri; Rincón obtiene resultados para hoja de 42 g. para el cultivar marathón datos parecidos al cultivar heritage de nuestro trabajo.

Para hoja en pesos secos, el análisis estadístico arroja diferencias significativas entre cultivares y se aprueba de ese modo la hipótesis planteada.

El cultivar avenger tiene resultados altos para peso seco de pella con 37.3 g mostrándose ante los demás como un cultivar de cosecha temprana y menor contenido de agua dentro de sus tejidos para fresco, Rincon, 2005 también reporta datos del estudio en peso seco de pella con resultados parecidos al nuestro con 39.1 g.

Para pesos secos de pella, el análisis de varianza aprueba que no existen diferencias y por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para este parámetro.

## CONCLUSIÓN

Dentro de nuestros objetivos para este trabajo se planteó el obtener las gráficas de los crecimientos medidos como parámetros de altura y área foliar, que sabemos de manera teórica resultan en sigmoides; con las mediciones en el tiempo más frecuentes como se hicieron en el trabajo, podemos decir que efectivamente resultaron dichas sigmoides con ciertas características o con ciertas desviaciones de lo que conocemos de los modelos teóricos.

Para el caso de alturas la sigmoide tiene poca pendiente y creemos que se debe a la particularidad del brócoli de tener crecimiento de hojas en roseta y por tanto, entrenudos muy cortos.

Para el caso de área foliar, vimos que el crecimiento intensivo se registró a partir de la semana 4 y se detuvo en la semana al tener una tendencia creciente hasta la aparición de las primeras inflorescencias, momento a partir del cual disminuyó debido a la competencia con las inflorescencias por foto asimilados.

En relación a los parámetros productivos generados en este trabajo como es el peso fresco de las pellas no hay diferencias significativas y sí en el peso fresco total de planta, lo que nos dice que debido al parámetro fundamental productivo y económico es el rendimiento en pellas, estadísticamente hablando podemos considerar el cultivar imperial de mayor rendimiento, de respuesta positiva en la asimilación de productos orgánicos al minimizar el daño ante enfermedades y plagas, aunque de crecimiento y desarrollo tardío.


En porcentajes de cada parte de la planta podemos ver que el cultivar imperial es el más eficiente en cuanto a rendimiento con un porcentaje de 41 % de su peso comercializable, siguiéndole manzuri, heritage y avenger.

Desde el punto de vista biológico las raíces más eficientes son las de avenger seguidas de manzuri, heritage e Imperial, ya que sólo requiere de 3.24 % de raíces para soportar toda la planta.

Al observar la tabla, las hojas más eficientes para generar 1 g de producto comercial son las de manzuri con 1.002 g de hojas, seguidas de Heritage, Imperial y Avenger.

## ANEXOS

Cuadro control de plagas y enfermedades dentro del invernadero.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Semanas	Fases de crecimiento Y desarrollo	germinación																								
			Desarrollo de hojas y tallo	Formacion inflorescencia	Inflorescencia en madurez comercial	Formacion de frutos	Maduracion defrutos y semillas	senescencia																		
CONTROL PLAGAS Y ENFERMEDADES	Palomilla blanca Larva de gusano medidor dorso diamante pulgón		Mal del almácigo: (Phythium, Fusarium, Rhizoctonia, hongos del suelo) Mildiu Mancozeb (alternaria brassicae)											Botrytis Alternaria Marchitamiento de plántulas.												
CONTROL	Té de tabaco Azufre, aceite Jabón zote disuelto/ concentrado de chicalote		Concentrado de chicalote/basillus turingensis(checar) Fernatol productos orgánicos: melaza, miel de , ácidos húmicos											Pirimor 1.7grx2.5l  agua												

## BIBLIOGRAFÍA

<http://www.fao.org/corp/statistics/es/>

[http://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016](http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016)

<http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Estudios/Documents/monografias/brocoli.pdf>

[http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp)

[http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp)

[http://ifosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://ifosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp)

Arteaga, N.M. O. Aclimatación de 12 híbridos de brócoli (2011).

Astegiano, E. D., Favaro, J. C., & Bouzo, C. A. (n.d.). Estimación del área foliar en distintos cultivares de tomate ( *Lycopersicon esculentum* Mill .) utilizando medidas foliares lineales, 16(2).

Baker, B., Olszyk, D. M., & Tingey, D. (1996). Digital Image Analysis to Estimate Leaf Area. *Journal of Plant Physiology*, 148(5), 530–535. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(96\)80072-1](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(96)80072-1)

Bakker, C. J., Swanton, C. J., & Mckeown, A. W. (2009). Broccoli growth in response to increasing rates of pre-plant nitrogen . II . Dry matter and nitrogen accumulation, 539–548.

Beautell González de Cháves A.,D. Ríos Mesa y B. Santos Coello determinación de las necesidades hídricas y coeficiente del cultivo de brócoli brassica oleracea var Italica plenck. 2016.

Birgi, J. A. *et al* (2015). Producción Hidropónica de Hortalizas de Hoja.

Barrera, J., & Melgarejo, L. M. (2006). Análisis De Crecimiento En Plantas, (1978),

25–38. Retrieved from [http://www.bdigital.unal.edu.co/8545/5/04\\_Cap02.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/8545/5/04_Cap02.pdf)

Cabezas-gutiérrez, M., & Silva, R. L. (n.d.). De forma no destructiva a non-destructive model for estimating leaf area in three forest species, (55), 121–130.

Carranza, C., Lancho, O., Miranda, D., Salazar, M. R., & Chaves, B. (2008). Modelo simple de simulación de distribución de masa seca en brócoli (*Brassica sp.*) variedad Coronado y repollo (*Brassica oleracea*) híbrido Delus cultivados en la Sabana de Bogotá. *Agron. Colomb*, 26(1), 23–31. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2009.00220.x>

Cartagena Yamil, Galvis Arturo, Hernandez Teresa, A. G. (2010). Determinación de la demanda nutrimental de nitrógeno en brocoli (*Brassica oleracea italica*). *XII Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo*, 17–19.

Casierra-Posada, F., & B, J. F. R. (2009). Efecto de la exposición del semillero a coberturas de colores sobre el desarrollo y productividad del brócoli (*Brassica oleracea var . italica*) Effect of seedbed exposition to colored covering on development and productivity of broccoli (*Brassica olera*, 27(1), 49–55.

Casierra-Posada, F., Nieto, P., & Ulrichs, C. (2012). Crecimiento, producción y calidad de flores en calas expuestas a diferente calidad de luz. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 15(1), 97–105.

Casierra-Posada, F., Zapata-Casierra, V., & Cutler, J. (2017). Comparación de métodos directos e indirectos para la estimación del área foliar en duraznero (*Prunus persica*) y ciruelo (*Prunus salicina*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 30–38. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6143>

Di Benedetto, A., & Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *Ria*, 42(1900), 258–282.

Easlon, H. M., & Bloom, A. J. (2014). Easy Leaf Area: Automated Digital Image Analysis for Rapid and Accurate Measurement of Leaf Area. *Applications in*

- El-magd, A., Zaki, M. F., & Sedera, S. A. A. (n.d.). Research article Growing Two Broccoli Cultivars under Different Mineral and Foliar Fertilization Treatments.
- El-magd, M. M. A. (2013). Evaluation of Some Broccoli Cultivars Growth , Head Yield and Quality Under, 9(11), 5730–5736.
- Erdem, T., Arin, L., Erdem, Y., Polat, S., Deveci, M., Okursoy, H., & G??lta??, H. T. (2010). Yield and quality response of drip irrigated broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) under different irrigation regimes, nitrogen applications and cultivation periods. *Agricultural Water Management*, 97(5), 681–688. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.12.011>
- Fraire Cordero, M. L., Nieto Ángel, D., Cárdenas Soriano, E., Gutiérrez Alonso, G., Bujanos Muñoz, R., & Vaquera Huerta, H. (2010). Effect of varieties and plant density on the physical quality of broccoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(11), 141–147. <https://doi.org/Article>
- Francescangeli, N., Sangiacomo, M. A., & Martí, H. R. (2007). Vegetative and reproductive plasticity of broccoli at three levels of incident photosynthetically active radiation, 5(3), 389–401.
- Garcés, F., & Forcelini, C. (2011). Peso de hojas como herramienta para estimar el área foliar en soya\*. *Ciencia Y Tecnología*, 4(1), 13–18.
- Guerrero, N. R., Andrés, M., Quintero, O., & Pérez, C. (2012). Determinación del Área Foliar en Fotografías Tomadas con una Cámara Web , un Teléfono Celular o una Cámara Semiprofesional Leaf Area Measurement in Photographs Taken with a Webcam , a Cell Phone or a Semi Professional Camera frecuencia en la investigación, 65(1), 6399–6405.
- Hernández, M. R., Ríos, Á. C., Valle, R. V., & Calzada, R. T. (2014). Crecimiento , rendimiento y calidad de cebolla en dos densidades de plantación en calera ,

zacatecas , méxico, 85–92.

James Cock , Patricia Moreno Cadena , Mayra Alejandra Toro , y Johanna Arango. 2012.

Javier, Z., Villalobos-reyes, S., Castellanos-Ramos, J. Z., & Tijerina-chávez, L. (2005). Crop Coefficient in Broccoli under Drip Irrigation.

Jiménez-Morales, V. D., Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., & Volke-haller, V. H. (2014). Modelos de simulación del crecimiento de lechuga en respuesta a la fertilización orgánica y mineral simulation models of lettuce growth in response to organic and mineral fertilization, *37*(3), 249–254.

Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P., Weiss, M., & Baret, F. (2004). Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, *121*(1–2), 19–35. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.08.027>

Legoburno Serna Del, E., Foliar, Á., & Vitis, E. N. (2005). Tesis doctoral.

Libutti, A., & Monteleone, M. (2017). Soil vs. groundwater: The quality dilemma. Managing nitrogen leaching and salinity control under irrigated agriculture in Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*, *186*(March), 40–50. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.02.019>

Llerena Vinueza, L. del R. (2013). Evaluación de Fotosint, Bioplus y Biorregin en mezcla con Cistefol en diferentes dosis y épocas de aplicación para el Control de la Fisiopatía (Ojo de Gato) en el cultivo de Brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *Itálica*) en Macají, cantón Riobamba, provincia.

López-Elías, J., Huez-lópez, M. A., Jiménez-León, J., & Cesar, J. (2011). Tropical and Subtropical Agroecosystems, *14* (2011): 349 - 355, *14*, 349–355.

López-Urrea, R., Montoro, A., López-Fuster, P., & Fereres, E. (2009). Evapotranspiration and responses to irrigation of broccoli. *Agricultural Water Management*, *96*(7), 1155–1161. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.011>

- Kehr, M, Elizabeth K. (2012). Producción de brócoli para la agroindustria, (45), 0–3.
- Mompie, E. J. (2014). Comunicación corta estimación de la superficie foliar en dos variedades de papa ( *solanum tuberosum* L .) por métodos no destructivos short communication estimate of the leave area in two potato varieties ( *solanum tuberosum* L .) for non destructive method, 35(1), 57–61.
- Moreno Perez, E. C *et al* Departamento de Fitotecnia., México,. (2014). Producción potencial y consumo.
- Nava, A. D., Hernández, V. A. G., Jaimes, M. N., Castro, E. H., Álvarez, D. V., & Villaseñor, G. D. (2014). Growth Kinetics of Vegetative and Reproductive Organs of Guava (*Psidium guajava* L .) in Iguala Guerrero , Mexico. *Agricultural Sciences*, 5(December), 1468–1475.
- Hernandez Hernández Epigmenio.cultivo de brócoli (*brassica oleracea* var. *itálica*) para exportación en el Norte del Estado de Guanajuato. tesis. febrero 2013.
- Paniagua-Pardo, G., Hernández-Aguilar, C., Rico-Martínez, F., Domínguez-Pacheco, F. A., Martínez-Ortiz, E. J., & Martínez-González, C. L. (2015). Efecto de la luz LED de alta densidad sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de brócoli. *Polibotánica*, (40), 199–212. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.40.13>
- Peña-Lomelí, A., Ponce-Valerio, J. J., Sánchez-del-Castillo, F., & Magaña-Lira, n. (2014).campo abierto agronomic performance of husk tomato varieties under greenhouse and open field conditions, 37(4), 381–391.
- Pérez-Olvera, M. A., García-Mateos, R., & Pérez, M. (2014). Sistema de producción y parámetros de calidad agronómica de brócoli en Mixquic , D . F . \* Production system and parameters of agronomic quality of broccoli in Mixquic , D . F . Resumen Introducción, 5, 1459–1468.

Puenayan I, A., Córdoba R, F., Unigarro S, A. (2010). respuesta del brocoli brassica oleracea var . italica l . híbrido legacy a la fertilización con n-p-k en el municipio de pasto, nariño. *revista de agronomía*, xxvii(1), 49–57.

Reséndez, A. M., Teresa, M., Perezgasga, V, & López, Z. (2005). desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost / arena bajo condiciones de invernadero development of tomatoes in substrates of vermicompost / sand under greenhouse conditions, 65(1), 26–34.

Rincon, L., Saez, J., Perez Crespo, J. ., Gomez Lopez, M. ., & Pellicer, C. (1999). Crecimiento y absorción de nutrientes del brócoli. *Investigacion Agraria*, 14(1), 225–236.

Risco Arias, D., Gutiérrez Albán, A. C., & Buenaño Sánchez, M. E. (2016). Crecimiento, producción y calidad en brócoli cultivado bajo diferentes dosis de abono nitrogenado. *Investigación Agraria*, 18(1), 44–48. <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2016.junio.44-48>

Romero, Universidad autónoma chapingo. (2013).

Rosero, A. (2015). “Evaluación de la adaptabilidad de cuatro variedades de brócoli (Brássica oleracea var. Itálica) en el Centro Experimental San Francisco Cantón Huaca – Carchi - Ecuador.” *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Sanchez del Castillo F. Enseñanza,. (2011). Colegio de postgraduados.

Sánchez del Castillo *et al* 2011 Crecimiento y desarrollo en plantas de jitomate (2011).

Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9(7), 671–675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>

Šlosár, M., Uher, A., Andrejiová, A., & Juríková, t. (2016). Selected yield and qualitative parameters of broccoli in dependence on nitrogen, sulfur, and zinc

fertilization. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40(3), 465–473.  
<https://doi.org/10.3906/tar-1501-99>

Solanum, J., Bajo, S. L., Basados, I., & Doseles, E. N. (2012). Universidad autónoma chapingo.

Telenchana, N. (2015). Aplicación de productos sello verde en el manejo de la hernia de las crucíferas (*Plasmodiophora brassicae*) en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* Var. Avenger), en las condiciones agroecológicas de Izamba, 0, 5–87.

Weiming Liu, E. W. (Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011). Correlation between Broccoli Planting Density and Broccoli plant character commercial, Quality and Yield. T. Zhang (Ed.): Future Computer, Communication, Control and Automation, AISC 119, 9-16.

Wu, H., Chan, L., Wei, M., & Lu, H. (2010). A Simple and Inexpensive Technique for Estimating Leaf Surface Area of Muskmelon (*Cucumis melo* L.) 1, 59(2397), 71–77.