

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Radiación fotosintéticamente activa, flujo de masa y CO₂ en el follaje del repollo (*Brassica oleracea L. var capitata*), bajo diferente densidad de población.

Por

JOSÉ MANUEL SANTELÍZ LÓPEZ.

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER

EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Torreón, Coahuila, México

OCTUBRE 2012.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS.

Radiación fotosintéticamente activa, flujo de masa y CO₂ en el follaje del repollo (*Brassica oleracea L. var capitata*), bajo diferente densidad de población.

Por.

JOSÉ MANUEL SANTELÍZ LÓPEZ

TESIS.

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR

ASESOR
PRINCIPAL:



PROF. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA.

ASESOR:



M.C. FEDERICO VEGA SOTELO.

ASESOR:



M.C. EDGARDO CERVANTES ALVAREZ.

ASESOR:



ING. MA. DE LOURDES ORTIZ PÉREZ.



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas


Dr. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS.
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE LAS CARRERAS AGRONÓMICAS.

Torreón, Coahuila, México

OCTUBRE 2012.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Radiación fotosintéticamente activa, flujo de masa y CO₂ en el follaje del
repollo (*Brassica oleracea L. var capitata*), bajo diferente densidad de
población.

Por
JOSÉ MANUEL SANTELÍZ LÓPEZ

TESIS.
QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR.

PRESIDENTE: 
PH.D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA.

VOCAL: 
M.C. FEDERICO VEGA SOTELO.

VOCAL: 
M.C. EDGARDO CERVANTES ÁLVAREZ.

VOCAL: 
M.C. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO.


Dr. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS.
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE LAS CARRERAS AGRONÓMICAS.



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México

OCTUBRE 2012.

AGRADECIMIENTO.

A **DIOS** por darme la sabiduría, fuerza y perseverancia para culminar con una de las etapas más importantes de mi vida.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que me acompañaron en este proceso de formación, crecimiento y aprendizaje; que me animaron en los momentos de flaqueza y me sirvieron de inspiración por su sabiduría.

A mi **ALMA TERRA MATER** por ser una casa siempre para mí, por compartir sus conocimientos conmigo y todas las cosas que guarda dentro, por hacerme un profesionalista haciéndome sentir orgulloso.

Al **Ph. D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA** por sus valiosas sugerencias, por su apoyo y su aporte en el desarrollo de este trabajo y amistad brindada. Al igual por compartir sus conocimientos y profesionalismo ¡Gracias!

Al **ING. SEBASTIAN PEÑAIRA MARTINI** por colaborar en el análisis de los datos de la investigación, ya que pese a las muchas tareas otorgo un poco de su tiempo para la realización.

Al **DR. JORGE LUIS VILLALOBOS ROMERO** por su apoyo incondicional y amistad que tuvo con nosotros en cada momento de nuestra formación profesional. Por compartir parte de sus conocimientos conmigo, platicar sus experiencias vividas en sus estudios exhortándome a seguir adelante, y la paciencia que tuvo conmigo.

A mis **COMPAÑEROS** con quienes día a día trazamos los senderos de vida, cuya unión de amistad y trabajo se demostró constantemente. A todos ellos que Dios los bendiga por siempre.

DEDICATORIA.

A:

DIOS que me ama y salvó por medio de Cristo Jesús, para él sea la gloria por los siglos de los siglos, amén. Por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente. Por darme salud para lograr mis objetivos propuestos, además de su infinita bondad y amor.

Mis **PADRES** Enrique Manuel Santelíz y Arminda López, por su ejemplo de vida y trabajo, gracias por ser mi fuerza y motivación, ayudarme a tomar decisiones acertadas y apoyarme de manera incondicional a lo largo de este camino, pero sobre todo gracias por siempre estar a mi lado brindándome su cariño ¡Gracias los amo!.

Mis **HERMANAS (OS)** Enriqueta, Claudia, Enrique y Paulina por ser parte de mi historia, darme cariño y amor, ser la alegría de mi vivir, a mis sobrinos Luis Alberto y Génesis Salome por llenarme de alegría, por su inocencia y cariño, ¡los amo!

Mis **ABUELOS** Leónides Santelíz, Juana Sánchez, Egripina López, Rosalino López (QEPD), por quererme y apoyarme siempre, y porque han estado cuando más los necesite sin negarme su cariño. Gracias a Dios que aún están conmigo y aunque ya ha partido uno de ellos, siempre lo amaré.

Mis **TIOS** Amanda Santelíz, Artemio López, Bellaner Pérez, Dolores Santelíz, Genoveva López, Juan Santelíz, Leonel González, María Santelíz, Migdalia López, Octavio López, Pedro Santelíz, Petri Santelíz, y Silvina Santelíz por los consejos y apoyo brindado en todo momento.

Mis **PRIMOS** Alexis Barrios, Beatriz Gálvez, Bladimir Barrios, Candelaria Ramírez, Daniela Santelíz, Darinél Santelíz, Eglaide López, David Hernández, Francisco Robléro, Leónides Santelíz, Leónel Santelíz, Olver López, Pompilio Santelíz, Nardy Robléro, Rosemary Marroquín, Uver Marroquín, Yarení Ramírez, y a otros más, gracias por todo su apoyo.

Mis **AMIGOS** Adieser Ortiz, Amelio Robléro, Diego Sánchez, Edgar López, Ednar Robléro, Iver González, Jorge Robléro, Leví escobar, Leyner Guzmán, Mayra Ortiz, Mirna Rojas, Obet Rivera, Osman Gálvez, Raymundo Vázquez, Roselin Duarte, Yesenia Morales, en quienes siempre encontré amistad sincera, apoyo incondicional, consejos y ánimos para continuar con mis sueños.

INDICE.**PAG.**

AGRADECIMIENTO.....	III
DEDICATORIA.	III
INDICE	V
INDICE DE CUADROS.	VIII
INDICE DE APENDICE.....	IX
RESUMEN.	X
I. INTRODUCCION.	1
1.1. Objetivo.....	2
1.2. Hipótesis.	2
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. Radiación fotosintéticamente activa.....	3
2.2. Flujo de masa.....	5
2.3. CO ₂	7
2.4. Origen y reseña histórica.	9
2.5. Importancia del repollo.....	9
2.6. Estadística a nivel nacional.....	10
2.7. Estadística a nivel mundial.....	10
2.8. Generalidades.....	11
2.9. Composición química.....	12
2.10. Descripción morfológica.....	13
2.11. Fenología de la planta.....	13
2.11.1. Fase vegetativa.....	14
2.11.1.1. Primera etapa.	14
2.11.1.2. Segunda etapa.	14
2.11.1.3. Tercera etapa.	14
2.11.1.4. Cuarta etapa.....	15
2.11.2. Fase reproductiva.	15

2.12. Descripción botánica.....	15
2.12.1. Sistema radical.	15
2.12.2. Tallo.....	15
2.12.3. Hoja.....	16
2.12.4. Flor.....	16
2.12.5. Fruto.....	16
2.12.6. Semilla.....	16
2.13. Clasificación del repollo.....	17
2.14. Variedades.....	17
2.15. Requerimiento del cultivo.....	18
2.15.1. Clima.....	18
2.15.2. Humedad relativa óptima.....	18
2.15.3. Suelo.....	19
2.15.4. Preparación del terreno.....	19
2.15.5. Siembra y trasplante.....	20
2.15.6. Densidad de siembra.....	20
2.15.7 Riego.....	21
2.15.8. Tipo de irrigación.....	22
2.15.9. Fertilización.....	22
2.16. Control de Plagas y enfermedades.....	23
III.- Materiales y método.....	25
3.1. Ubicación del experimento.....	25
3.2. Localización del experimento.....	25
3.3. Preparación del terreno.....	26
3.4. Diseño experimental.....	26
3.5. Siembra.....	26
3.6. Aclareo.....	27
3.7. Sistema de riego.....	27
3.8. Control de maleza.....	27
3.9. Control de plagas.....	28
3.10. Sistema portátil de fotosíntesis CI-340.....	28

IV.- Resultados y discusión.	29
4.1. Radiación fotosintéticamente activa (<i>PAR</i>).	29
4.2. Flujo de masa (<i>W</i>).	30
4.3. Dióxido de carbono (CO_2).	30
V. CONCLUSION.	31
Literatura citada.	32
APENDÍCE.	40

INDICE DE CUADROS.

CUADRO 1. Clasificación taxonómica.....	11
CUADRO 2. Composición química del repollo en proporción de 100 gr.....	12
CUADRO 3. Enfermedades más comunes en el repollo.	24
CUADRO 4. Radiación fotosintéticamente activa (PAR), flujo de masa (W), y CO ₂ en el follaje del repollo bajo diferente densidad de población.....	31

INDICE DE APENDICE.

APENDICE 1. Análisis de varianza para radiación fotosintéticamente activa (PAR) en el follaje del repollo.....	41
APENDICE 2. Análisis de varianza para flujo de masa (W) en el follaje del repollo	42
APENDICE 3. Análisis de varianza para contenido interno de CO ₂ en el follaje del repollo.....	43

RESUMEN.

La radiación solar es la fuente primaria de energía para la vida en la tierra. Las plantas aprovechan una parte de dicha energía para transformarla en energía química representada por fotosintatos (Rivera y Navarro, 2010). Los factores que afectan la biomasa a cosechar son la radiación solar absorbida, la eficiencia de utilización de esa energía para la fijación del CO₂ (Chiesa et al., 2000) y la acumulación neta del CO₂ asimilado; lo cual se traduce en mayor producción y mejor rendimiento del cultivo (Grazia et al., 2001). El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la UAAAN UL, en Torreón Coahuila, dentro del área experimental del Departamento de Riego y Drenaje. El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con cuatro repeticiones. El objetivo fue evaluar la radiación fotosintéticamente activa (PAR), flujo de masa (W) y contenido interno de CO₂ en el follaje del repollo bajo dos densidades de población (16,666 y 33,333 planta por ha⁻¹). Las variables evaluadas se determinaron utilizando el Sistema portátil de fotosíntesis modelo CI-340. Los datos fueron analizados empleando el programa computacional SAS ver 9.0. Los resultados obtenidos de PAR fueron 1597.58 umol/m²/s en la densidad de 16,666 plantas ha⁻¹ y 1612.17 umol/m²/s en 33,333 plantas ha⁻¹, respectivamente. En flujo de masa fue 0.284125 mmol/m²/s en la densidad de 16,666 plantas ha⁻¹ y 0.284150 mmol/m²/s en 33,333 plantas ha⁻¹, respectivamente. Y en contenido interno de dióxido de carbono fue 361.46 mmol/m²/s en la densidad de 16,666 plantas ha⁻¹ y 368.43 mmol/m²/s en 33,333 plantas ha⁻¹. Los resultados obtenidos no mostraron diferencia significativa entre las densidades de población.

Palabras clave: Biomasa, bloques al azar, densidad de población, radiación fotosintéticamente activa, flujo de masa, CO₂.

I. INTRODUCCION.

Existen factores ambientales que dependiendo de su intensidad y duración reducen la vitalidad de las plantas, llegando a dañarlas e incluso causarles la muerte (Reigoza et al., 2003). Afectando así los procesos fisiológicos como la absorción de agua, fotosíntesis, respiración, crecimiento, desarrollo, producción, etc. (Reyes et al., 2001). El rendimiento de los procesos fisiológicos depende de las condiciones ambientales, y concretamente, la temperatura, la intensidad luminosa, el agua y la concentración de CO_2 afectan a la tasa fotosintética.

Las plantas utilizan la radiación solar incidente para sintetizar compuestos orgánicos a partir del CO_2 atmosférico, agua y nutrientes del suelo, mediante el proceso de la fotosíntesis. Estos compuestos una vez sintetizados se utilizan para mantener los propios tejidos de la planta, para mantener las reservas de carbohidratos o para formar nuevos tejidos y crecer (Zermeño et al., 2005). De toda la radiación incidente sobre una hoja, los fotones cuya longitud de onda está comprendida entre los 400 y 700 nm resultan útiles para la fotosíntesis. Esta se llama Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR), la cual es captada por un vegetal y determina directamente la producción de fotosintatos, influyendo sobre el crecimiento, productividad y calidad de la planta (Raffo et al., 2004).

El factor de mayor incidencia sobre la fotosíntesis y crecimiento de las plantas es la concentración del CO_2 . La biomasa total a cosechar resulta de la acumulación neta del CO_2 asimilado durante todo el ciclo de crecimiento. Debido a que la asimilación del CO_2 resulta de la absorción de energía solar (radiación) y dado que ésta última está distribuida uniformemente sobre una superficie, los factores primarios que afectan la biomasa total son la radiación solar absorbida y eficiencia de utilización de la energía para la fijación del CO_2 (Chiesa et al., 2000).

La velocidad de asimilación de CO_2 está determinada por procesos biofísicos, dentro de los que se incluyen el transporte del CO_2 a través de la hoja y estomas, así como por procesos bioquímicos y metabólicos, que se producen en las membranas de los tilacoides y estroma del cloroplasto, mitocondrias y el citosol de la célula (Sharkey et al., 2007).

Por su parte, la transpiración ayuda a la absorción de un mineral desde el suelo y transportarlo dentro de la planta. Los minerales absorbidos por la raíz se mueven en dirección del flujo transpiracional a través del xilema. En condiciones de alta transpiración, se producen condiciones de “*flujo de masa*” dentro del xilema. Sin embargo, la planta puede redistribuir algunos minerales a través del floema desde los órganos de asimilación hasta los órganos sumideros, otros sólo pueden ser movilizados por el xilema.

1.1. Objetivo.

- Evaluar la radiación fotosintéticamente activa, flujo de masa y CO_2 en el follaje del repollo bajo diferente densidad de población.

1.2. Hipótesis.

- La radiación fotosintéticamente activa, flujo de masa y CO_2 en el follaje del repollo bajo diferente densidad de población es similar.

II. REVISION DE LITERATURA.

Los cultivos presentan problemas que afectan su desarrollo fisiológico como: factores ambientales que cambian constantemente (temperatura, concentración de CO₂ y O₂, disponibilidad hídrica, turbulencia del aire y radiación solar). Esta última, dependiendo de la eficiencia con que se haya utilizado y tiempo durante el cual esta eficiencia se haya mantenido, dará como resultado la producción final de biomasa.

2.1. Radiación fotosintéticamente activa.

La radiación solar es uno de los principales factores ambientales que afectan la vida en nuestro planeta. Esta radiación controla el funcionamiento de los ecosistemas terrestres y acuáticos tanto a través del control de procesos fotobiológicos (fotosíntesis, fotoperiodo, fototropismos, etc.) como por medio de su acción sobre otros factores ambientales (temperatura, humedad, etc.) y ciclos naturales (ciclos diarios, anuales, hídricos, etc.) que finalmente inciden en la distribución de los organismos (Carrasco, 2009).

Produce dos tipos de procesos principales: los procesos energéticos (fotosíntesis); y los morfogénicos crecimiento estructural (Urbano A., 1999, Villalobos C., 2002). Las plantas realizan la fotosíntesis y la Radiación fotosintéticamente activa (PAR) es su fuente de energía, conocer la distribución espacial y temporal del mismo es fundamental para el análisis de los procesos biológicos asociados (Grossi, 2003).

Las plantas aprovechan una parte de la energía para transformarla en energía química representada por los fotosintatos (Rivera y Navarro, 2010). Una de las funciones de las hojas es interceptar la radiación solar necesaria para la fotosíntesis; por tanto, los cultivos deben desarrollar suficiente área foliar para una máxima absorción de radiación para la formación de carbohidratos necesarios para su desarrollo. El rendimiento máximo es función directa de su índice de área foliar óptimo (cantidad de follaje requerido para interceptar 95% de la radiación incidente), el cual está determinado por la densidad de población (Zermeño et al., 2005).

La radiación fotosintéticamente activa (PAR) es una componente relativamente corta de la radiación solar (Hernando y Román, 2006), se encuentra entre los 400 y 700 nm del espectro electromagnético y constituye la parte Visible de la radiación solar (Salisbury y Ross 1992). Es un 44% de la luz solar total Merck (2006). La PAR captada por un vegetal determina directamente la producción de fotosintatos, influyendo sobre el crecimiento, productividad y calidad de fruta de las plantas (Ferre D. C., 1980). El hombre busca que estos fotosintatos sean canalizados preferentemente a los órganos o tejidos de su interés (Kohashi, 1990).

Altos valores de transmisión de radiación son importantes para la fotosíntesis, hasta umbrales de saturación a partir de los cuales, nuevos incrementos de la radiación no se traducen en aumentos en la tasa fotosintética de las plantas (Iglesias y Muñoz., 2007). La influencia que ejerce sobre la producción primaria vegetal, como así en orden a su potencial de aprovechamiento energético. La determinación de la radiación solar, evaluación temporal y regional de su disponibilidad constituye un objetivo de carácter estratégico para el desarrollo de la sociedad (De la casa et al., 2003).

En repollo, al inicio del cultivo, tiene Índice de área foliar (IAF) menor a 2 cm. En esta etapa las hojas son más erectófilas y se presenta mayor penetración de la radiación fotosintéticamente activa a través del dosel de la planta. A medida que el IAF alcanza su máximo (5,17) a los 68 días de trasplante, las hojas del tercio superior e intermedio se compactan formando la cabeza, que finalmente se cosecha; las hojas del tercio inferior captan parte de la radiación directa y los tercios superiores captan radiación difusa (Carranza, 2008).

2.2. Flujo de masa.

La cantidad de agua que fluye a través de la planta o circula por unidad de superficie de cultivo depende de la oferta de agua del suelo, las características estructurales, funcionales de la planta y condiciones atmosféricas. En cada momento de su vida, el estado hídrico de la planta depende del balance entre el agua que la planta absorbe del suelo y la que pierde por transpiración

Se dice que hay flujo de masa cuando todas las moléculas que componen la masa de agua (incluyendo las sustancias disueltas en ella), se mueven simultáneamente en la misma dirección (estrictamente, el componente direccional dependiente del flujo masal es muy superior a aquellos que dependen del movimiento aleatorio de las moléculas y componente difusional que pudiera existir). El agua se mueve desde el suelo hasta la atmósfera en volúmenes muy grandes. La mayor parte circula a través de las plantas en su camino desde el suelo a la atmósfera: es absorbida por la raíz, luego fluye por el xilema, se evapora en los espacios intercelulares del mesófilo, y finalmente se difunde como vapor de agua a la atmósfera, especialmente a través de los poros estomáticos que en alto número perforan la epidermis (Evans, 1983)

El agua en el xilema de una planta que se halla transpirando activamente se mueve por flujo masal, siguiendo gradientes de presión hidrostática. Estos se generan cuando la hoja pierde agua por transpiración. La hoja que transpira pierde primero el agua ubicada en los capilares de mayor diámetro de la matriz porosa que constituye la pared celular de las células del mesófilo (UBA, 2001).

Los compuestos son transportados en forma de iones a la raíz. Si los compuestos se encuentran en forma soluble en agua, serán absorbidos a través de la raíz. Este es un mecanismo importante por medio del cual la planta absorbe nutrientes o iones que están abundantemente en el suelo, pero se encuentran débilmente fijados al él, como son el Ca_2^+ , Mg_2^+ , NO_3^- , Cl^- y H_3BO_3 (López, 2009).

Las plantas poseen mecanismos capaces, dentro de ciertos límites, de regular la tasa de absorción y transpiración. Los controles más importantes en este sentido residen en el grado de apertura del poro estomático (estomas con poros reducidos restringen la pérdida de agua), la modulación de la expansión foliar (hojas más pequeñas reducen el tamaño del aparato transpiratorio), variaciones en el ángulo de inserción foliar (la radiación se reduce si las hojas se orientan en paralelo), senescencia/abscisión de una parte de las hojas (reduce el tamaño del aparato transpiratorio) y cambios en la relación área foliar/extensión de raíz (modifica balance absorción-transpiración) (UBA, 2001).

Los factores que influyen en el flujo de masa son la textura (poca humedad en el suelo disminuye el flujo de masa), tamaño del sistema radical en la planta (profundidad, grosor), temperatura del suelo (temperatura fría reduce la transpiración de la planta) (López, 2009). El flujo de masa va a estar llevando a cabo el intercambio gaseoso de CO_2 entre la atmósfera y planta.

2.3. CO₂.

Las plantas absorben de su medio ambiente las materias primas para elaborar sustancias orgánicas requeridas para su desarrollo. A través de los estomas, epidermis y lenticelas absorben el dióxido de carbono para la fotosíntesis y el oxígeno para la respiración. Después de que se captura el dióxido de carbono de la atmósfera y los océanos, se fija en compuestos orgánicos (son consumidoras de CO₂). Las plantas producen también CO₂ mediante la respiración, el cual es rápidamente usado por la fotosíntesis. Las plantas convierten la energía del sol en energía química, almacenada en los enlaces C-C, de los compuestos orgánicos (Hernández, 2002).

La biomasa total a cosechar de los cultivos resulta de la acumulación neta del CO₂ asimilado durante todo el ciclo de crecimiento. Debido a que la asimilación del CO₂ resulta de la absorción de energía solar (radiación) y dado que ésta última está distribuida uniformemente sobre una superficie, los factores primarios que afectan la biomasa total son la radiación solar absorbida y eficiencia de utilización de esa energía para la fijación del CO₂ (Chiesa, 2000).

Experimentos controlados bajo condiciones de laboratorio han provisto información detallada sobre la asimilación de CO₂ a niveles subcelulares, celulares y de tejidos, pero hay poca información sobre la asimilación del CO₂ a un nivel de organización superior. Experiencias en tomate indican que el enriquecimiento con CO₂ produjo trasplante con mayor peso (81% comparado con el control), con un aumento del peso específico de la hoja, sin afectar la altura de la planta. Aparentemente el incremento de CO₂, puede aumentar la translocación de sacarosa hacia las raíces, facilitando la movilización de N y componentes de C, y así promover el desarrollo de primordios radiculares.

Las plantas responden positivamente al aumentar la concentración de CO₂, de tal modo que una concentración doble, con buen suministro de agua, eleva la fotosíntesis, y puede suponer un aumento de la producción. Incluso si el potencial hídrico desciende, se produce algún efecto positivo en la fotosíntesis, lo que indica que la resistencia a la sequía aumenta al incrementar el CO₂ (Ocaña, 2009).

El proceso de fotosíntesis implica la llegada de CO₂ desde la atmósfera al mesófilo de las hojas, permitiendo una apertura estomática y pérdida de agua hacia la atmósfera. La apertura de estomas en muchas plantas es inversamente proporcional a la concentración de CO₂ interno, tanto en condiciones de luz y oscuridad. El incremento de CO₂ a nivel intercelular o de medioambiente causa el cierre; mientras que su disminución induce la apertura de las estomas. Aún hay controversia en cómo los estomas son capaces de detectar la concentración de CO₂. La pérdida de agua por las hojas (transpiración) debe ser compensada por la absorción de agua desde el suelo. Si no se logra esta compensación, la planta se deshidrata, cerrando sus estomas.

La enzima de fijación de CO₂ es rubísco. Su actividad depende de la relación de concentración de O₂ y CO₂. Al aumentar el CO₂ en el ambiente, aumenta la carboxilación de Rubísco. Algunos estudios indican que duplicando la concentración de CO₂ de 330 a 660 ppm, los rendimientos deberían aumentar hasta un 33% (Leskovar, 2001).

2.4. Origen y reseña histórica.

El repollo (*Brássica Olerácea L. Var capitata*) es originario de las costas del Mediterráneo y Europa Occidental, crece de manera silvestre encontrándose en lugares como Dinamarca, Inglaterra, Francia y Grecia, aunque siempre en zonas litorales y costeras, pero se desarrolla mejor en zonas de clima fresco. Fue cultivado por los Egipcios 2,500 años A.C. y posteriormente por los Griegos (CENTA 2003).

Planta que ha tenido una importancia fundamental en Europa desde la antigüedad conocida por los españoles y apreciada por los griegos que la servían en comidas públicas incluso aparece mencionada en guiones de comediógrafos, cuyos personajes aconsejaban su uso para curar enfermedades. En la época romana, aparece mencionada por catón en su obra “De re rustica” como remedio para trastornos intestinales o pulmonares.

2.5. Importancia del repollo.

En los últimos años se ha convertido en un cultivo de interés tanto por los productores agrícolas como por las instituciones nacionales que promueven la producción de hortalizas. Situación motivada por razones variadas, siendo principalmente la de tipo económico y climático. Actualmente este producto continúa siendo muy apreciado en Alemania y Estados Unidos. Cultivo alto en vitaminas C, hierro; el contenido de glucosinatos ha sido probado como efectivo contra el cáncer, principalmente el pulmonar. De igual forma, se le atribuyen efectos en la reducción del colesterol sanguíneo (Fuentes et al., 2003).

2.6. Estadística a nivel nacional.

A través del Servicio de Información agroalimentaria y Pesquera que brinda información de la producción agrícola 2010. En el caso del repollo, el estado de Puebla es el principal productor de repollo en México con una superficie de 1,780 ha, aproximadamente 27.4 % del total nacional (SAGARPA-SIAP). La superficie total sembrada fue de 6,503 ha, logrando realizar la cosecha en una superficie de solo 6,408 ha, con una producción de 212, 135 toneladas con un rendimiento promedio de 33.10 ton ha⁻¹ generando una derrama económica de 336, 730,890 pesos.

En 2009, la superficie sembrada de col en México fue de 5,435 ha, logrando realizar la cosecha en una superficie de solo 5,422 ha, con una producción de 179, 873.95 toneladas con un rendimiento promedio de 33.17 t/ha⁻¹ generando una derrama económica de casi 285 millones de pesos (SAGARPA, 2009).

2.7. Estadística a nivel mundial.

Los principales países exportadores de repollo a nivel mundial en 2007 fueron: Estados Unidos de Norteamérica y los Países Bajos, como Italia, España, China, entre otros.

México ocupa el lugar 29 en costo de importación con un valor de 2,158 (1,000 dólares) de col de un total de 166 países productores. El valor de la producción del sector agropecuario en precios corrientes de 2003, con información revisada al 09/MAR/2009 (SIAGRO), para el año 2005 fue de 104.5 (1,000) \$U.

2.8. Generalidades.

El repollo (*Brássica olerácea L. var capitata L.*) se cultiva para el aprovechamiento de las hojas que conforman la cabeza, y pueden consumirse en estado fresco, cocinadas de diversas formas y encurtido (Fuentes et al., 2003). Con él se elabora el chucrut que son las hojas encurtidas en sal (Pletsch, 2006). La amplia variación de tipos de repollo ha llevado a la distinción de subvariedades botánicas. En el cuadro 1 se describe su clasificación taxonómica.

CUADRO 1. Clasificación taxonómica.

Reino	Vegetal
Filium	Traqueofitas
Subfilium	Pteropsidas
Subtipo	Angiospermas
Clase	Dicotiledóneas
Subclase	Arquiclamídeas
Orden	Rhoedales
Familia	Crucíferas
Género	Brássica
Especie	olerácea L.
Variedad	Capitata (Repollo).

Fuente: Herrera H. Carlos a., 2002.

2.9. Composición química.

La composición química de las diferentes subvariedades de repollo que se cultivan en el mundo, el verde-blanco es el más importante, seguido por los tipos Savoy y morado. En el cuadro 2 se mencionan propiedades químicas de las diferentes subvariedades:

CUADRO 2. Composición química del repollo en proporción de 100 gr.

COMPONENTE	VERDE-BLANCO	MORADO	SAVOY O ROJO
Agua	93.00 %	92.00 %	91.00 %
Carbohidratos	5.71 g	5.71 g	5.71 g
Proteínas	1.43 g	1.43 g	1.43 g
Calcio	47.14 mg	51.43 mg	35.71 mg
Fosforo	22.86 mg	41.53 mg	41.43 mg
Fierro	0.57 mg	0.43 mg	0.43 mg
Potasio	245.71 mg	205.71 mg	230.00 mg
Sodio	18.57 mg	11.43 mg	28.57 mg
Vitamina A	128.57 UI	42.86 UI	1000.00 UI
Tiamina	0.06 mg	0.06 mg	0.07 mg
Riboflavina	0.03 mg	0.03 mg	0.03 mg
Niacina	0.29 mg	0.29 mg	0.29 mg
Ácido ascórbico	47.14 mg	57.14 mg	31.43 mg
Valor energético	21.47 cal	28.57 cal	28.57 cal

Fuente: SAGARPA, 2001.

2.10. Descripción morfológica.

Planta herbácea, con polinización autógama o alógama (mayormente tiende a ser alógama); además tiene un tallo grueso rodeado por una serie de hojas superpuestas, formando una cabeza compacta. La cabeza puede tener varias formas, de redonda hasta achatada en la punta; el color de la cabeza puede variar enormemente, de morado, verde claro u oscuro. Su raíz principal es pivotante además posee varias raíces laterales; de las cuales aproximadamente el 80 % se encuentran en los primeros 30 cm del suelo (Sarita, 1993).

La cabeza se forma como resultado de un desarrollo de hojas denso alrededor del punto de crecimiento, en forma de espiral, formando una roseta compacta. Dentro de la cabeza continúa creciendo y desarrollándose el tallo y hojas, lo cual ejerce presión sobre las hojas externas de la cabeza y ésta va adquiriendo firmeza.

2.11. Fenología de la planta.

La planta de repollo es bianual, en clima templado, tarda un año para crecer y otro para producción de flor y semilla (Castaños, 1993).

En clima tropical la planta tiene un ciclo de tres a cuatro meses, y generalmente no florece. El primer ciclo de su vida corresponde a la fase vegetativa, representado por el desarrollo de raíz, hojas, tallos y termina con la producción de un tallo ancho y corto que actúa como un órgano de reserva y por último la fase reproductiva (Fuentes et al., 2003).

2.11.1. Fase vegetativa.

El primer ciclo de vida del repollo o fase de crecimiento vegetativo, es el más importante para los productores y único que se cumple de forma natural en nuestras condiciones climáticas. Esta fase se divide en cuatro etapas:

2.11.1.1. Primera etapa.

Se realiza entre los 8 y 10 días, inicia con la germinación de la semilla y termina cuando la plántula tiene entre cuatro y cinco hojas verdaderas. Durante esta etapa las plantas desarrollan su sistema radical y las primeras hojas verdaderas; corresponde al momento apropiado para el trasplante (Torres, 2002).

2.11.1.2. Segunda etapa.

Inicia del establecimiento de la planta al trasplante hasta que ésta tiene de seis a ocho hojas. Luego entra en una rápida fase de incremento de biomasa. Se incrementa el área foliar al igual que el sistema radical y tallo de la planta (CENTA 2003).

2.11.1.3. Tercera etapa.

La planta continúa produciendo hojas de pecíolos alargados y limbos extendidos, finaliza cuando la planta tiene aproximadamente doce hojas. Las hojas originadas hasta el momento, no formaran parte de la cabeza y solo algunas de las producidas durante la última etapa se doblarán ligeramente para formar una capa protectora.

2.11.1.4. Cuarta etapa.

Se lleva a cabo la formación de la cabeza que se caracteriza por la producción de hojas sin pecíolo que se superponen formando una bola o cabeza llamada Pella (Fuentes, 2003).

2.11.2. Fase reproductiva.

Requiere el estímulo de baja temperatura, que activa los procesos fisiológicos que culminan con la producción de uno o más tallos florales en los que se origina la inflorescencia (Gispert, 1999).

2.12. Descripción botánica.

2.12.1. Sistema radical.

Es cilíndrica, pivotante y posee raíces secundarias que absorben el agua y nutrientes; presentan un sistema radical reducido y superficial, entre 40 y 45 cm. de longitud, que limita la capacidad de exploración del suelo (CENTA 2003).

2.12.2. Tallo.

Durante el primer ciclo vegetativo la planta forma un tallo herbáceo, relativamente grueso, corto, jugoso, erecto, sin ramificaciones; con la parte exterior leñosa y entre nudos cortos, no presenta ramificaciones y no alcanza más de 30 cm. debido a que el crecimiento en longitud se detiene en los estados iniciales del desarrollo. La cabeza del repollo corresponde a un tallo que sostiene gran número de hojas no desplegadas, descansando una sobre otra, que encierran la yema terminal y hojas más jóvenes. (CENTA 2003).

2.12.3. Hoja.

La cabeza está constituida por hojas modificadas y parten del tallo, con un ángulo que es diferente según la variedad y define su compactación (Fuentes et al., 2003).

2.12.4. Flor.

La inflorescencia es racimosa (flores en largo racimos de 5 pulgadas) y las flores son amarillentas, de cáliz estrecho, con cuatro pétalos formando una cruz (EEA/UPR, 1999). La floración y fructificación únicamente se presentan bajo condiciones de temperatura baja, es decir en lugares con clima frío (INTA, 2006).

2.12.5. Fruto.

El fruto es una cápsula llamada silicua, la cual exhibe dehiscencia longitudinal a través de una hendidura de las paredes a lo largo de la línea placentaria al momento de la madurez fisiológica, para la dispersión natural de la semilla (Jaramillo et al., 2006).

2.12.6. Semilla.

El repollo produce una semilla pequeña, con cerca de 1/ 16 de pulgada de diámetro; de forma globular, superficie lisa y de tonalidades cafés en su completa madurez (Jaramillo et al., 2006).

2.13. Clasificación del repollo.

El repollo se clasifica en base a las siguientes características (MAG 1987):

- a. Forma y tamaño de la cabeza (redonda, chata, cónica)
- b. Color (verde, rojo, azules)
- c. Textura de las hojas (lisas, corrugadas)
- d. Duración de periodo del cultivo (precoz, intermedio y tardío).
- e. Tamaño (pequeño menos de 2 lb., mediano de 2 a 5 lb., O grande de más de 5 lb).

2.14. Variedades.

Existen subvariedades disponibles que son: repollo verde; las hojas de afuera son verdes oscuras y las interiores van de verde pálido a verde claro. Repollo rizado: enrollado o rizado, con líneas onduladas verde-azul en las hojas. Repollo colorado o rojo (lombarda): esta subvariedad es generalmente más pequeña y más densa que las variedades de repollo para cabezas verdes.

Las Sub-variedades de repollo son: Alba, corazón de buey (acorazonado), Lorena (acorazonado), Express (acorazonado), Jersey Wakefield (acorazonado), Copenhague (redondo), Golden acre (redondo), Cabeza de piedra (redondo), Languenjik (redondo), Tardío negro (redondo), Brunswick (aplanado), Quintel de Alsacia(aplanado), San Dionisio (aplanado), Vela (hibrido), Unigreen Early (hibrido), Bronco (hibrido), Rey precoz (hibrido), colahat (hibrido), Roja oscura de Erfurt (hibrido), cabeza negra, entre muchas otras (INFOAGRO, 2008).

2.15. Requerimiento del cultivo.

2.15.1. Clima.

El repollo se desarrolla y produce mejor en clima templado y fresco. La temperatura es el principal condicionante para el buen crecimiento del repollo, siendo el promedio mensual óptimo de 15 a 20 °C para un buen desarrollo de la parte aérea de la planta, con máximos medios de 23°C y mínimos de 4°C; a temperatura de 25°C el rendimiento puede afectarse, de todas las crucíferas, es la hortaliza que muestra mayor tolerancia a la baja temperatura soportando heladas. (Herrera, 2002).

Se cultiva en diversas zonas en alturas que oscilan de los 400 hasta los 1,800 msnm (Parrado, 2004). Se aclimata a una altitud de 1000 a 3100 msnm en clima cálido, subcálido, templado y frío (Hidalgo, 2007).

2.15.2. Humedad relativa óptima.

Se indica que el cultivo tiene un requerimiento hídrico de 500 a 600 mm/ciclo (Hidalgo 2007) o de 4 mm por día por planta, medido sobre la base de la transpiración, lo que equivale a 120 mm por mes, distribuidos de forma que la humedad del suelo no llegue a menos del 50% de la capacidad de campo (Halle, citado por Huerres y Caraballo, 1988).

Existe variación de acuerdo a la variedad y su duración. La necesidad de agua del cultivo durante la estadía del cultivo continua siendo aproximadamente las mismas durante toda sus últimas tres etapas, por lo tanto es necesario proporcionar agua hasta el último momento (Gutiérrez, 1994).

2.15.3. Suelo.

El repollo se puede desarrollar en casi todo tipo de suelo, en lo que se refiere a textura desde arenoso hasta pesado, prefiriendo aquellos que tengan medio a alto contenido de materia orgánica de textura intermedia, buen drenaje, buena retención de humedad y pH entre 5.5 y 6.5.

El apropiado es el fértil, suelto, plano y bien nivelado que permita una buena penetración del agua en el suelo y facilite las prácticas de raleo entre saque y deshierbe (Suquilanda, 1996). El porcentaje ideal de aire en el sustrato debe ser del 2 al 4 %, el pH debe estar en el rango de 5.5 a 6.4, cuando es muy alto los micronutrientes se ven afectados y al contrario cuando son bajos los micronutrientes se presentan en deficiencia. La concentración de sales en el sustrato tiene que ser $<0,75$ mmhos/cm (Garcés, 2000).

2.15.4. Preparación del terreno.

Se debe realizar para la preparación del terreno una pasada de arada y dos de rastra para luego surcarlo (Hidalgo, 2007). A una profundidad al menos 30 cm a fin de voltear el suelo, los pasos de rastra deberán realizarse antes con intervalo de una semana a fin de destruir las fuentes de inóculo por efecto solar. (CENTA 2003).

2.15.5. Siembra y trasplante.

El tamaño de la semilla es pequeño, a si es imprescindible acudir a la siembra en almácigo, semillero o bandeja. (Suquilanda, 1996). Cuando ha obtenido por lo menos cuatro hojas verdaderas, se procede a trasplantar al sitio definido (Hidalgo, 2007). En general son especies fáciles de trasplantar por la resistencia que presentan a las condiciones de estrés en el campo. El momento de trasplante está determinado por el tamaño de la plántula; bajo el sistema de bandejas se obtienen plántulas de excelente calidad, listas para el trasplante 10-12 cm de altura con 4 hojas verdaderas a los 20-25 días después de la germinación (Jaramillo, 2005). Se deben dejar de 12 a 24 pulgadas de espacio entre filas de plantas (Surcos), dependiendo del cultivar, tamaño y forma de la cabeza (repollo) deseado. Siembre la semilla de 1/4 a 1/2 pulgada de profundidad (Hidalgo, 2007).

2.15.6. Densidad de siembra.

Entre los factores que afectan su producción y su tamaño están la densidad de población y fertilización nitrogenada, los cuales interactúan entre sí, con el ambiente del cultivo y los cultivares (Cecilio, 2004).

Es importante mencionar que el tamaño de la cabeza es directamente proporcional a la distancia de siembra, la más utilizada es de 40 cm entre plantas y 50 cm entre surcos o hileras. Pero si se piensa realizar alguna labor cultural mecanizada, por ejemplo el aporque, es conveniente distanciar entre hileras uno 70-85 cm dependiendo del implemento (Jaramillo, 2002).

En la elección del espaciamiento, se debe tener en cuenta también que a menor distancia cada cabeza tendrá menor peso, pero se obtendrá mayor número y por lo tanto mayor rendimiento/ha. Generalmente las variedades precoces se siembran a densidades más altas, que las variedades tardías. Para mercado en fresco unas 35.000 a 50.000 plantas por hectáreas son suficientes (Jaramillo, 2005).

2.15.7 Riego.

El riego debe ser regular y abundante en la fase de crecimiento. En la fase de inducción floral y formación de pella, es conveniente que el suelo esté sin excesiva humedad, pero si en estado de capacidad de campo (INFOAGRO, 2008).

En época seca, se hace necesario un riego por semana, depende además del tipo de suelo, capacidad de retención de humedad y su tasa de infiltración, para determinar la cantidad y frecuencia de riego.

El máximo crecimiento y rendimiento se logra sólo cuando se provee a la planta de buena cantidad de agua a lo largo del ciclo productivo, recordando que la etapa fenológica de mayor demanda de agua es la época de formación de la cabeza, un déficit en esta etapa provocará mayor reducción en rendimiento (Jaramillo, 2005).

2.15.8. Tipo de irrigación.

Un sistema de riego apropiado es por medio de goteo, que no humedece el follaje, puesto que es la aplicación del agua sobre el suelo con distribución uniforme de gotas finísimas, que hacen que este sistema sea económico y eficiente (Jaramillo, 2005).

2.15.9. Fertilización.

En el cultivo del repollo el N es el segundo nutrimento más requerido, después del K para la formación y calidad del producto comercial (Filgueira, 2000). Las especies de la familia Brásica (crucíferae) responden favorablemente a la fertilización nitrogenada y la producción aumenta con 300 kg de N ha⁻¹ (Trani et al., 1999).

Cuando el N es deficiente se reduce la producción, atrasa la maduración y se perjudica el sabor (Nogueira et al., 1983). Un exceso de N ocasiona grietas, disminuye la compactación de la cabeza del repollo (Peck, 1981) y aumenta la concentración de nitrato en las hojas.

Estas cantidades contribuyen a un mayor rendimiento del cultivo. El resto se compensa con algunas aplicaciones ligeras de Nitrógeno (Shany, 2005).

2.16. Control de Plagas y enfermedades.

Las plantas son atacadas particularmente por *Peronospora* parasítica, que son ocasionadas por Mildiu vellosa en las plántulas en los semilleros; en campo se presentan ataques de *Xanthomonas campestris*, que ocasionan la mancha bacteriana y de *Alternaria* sp., que causa las manchas de las hojas (Padilla, 2000).

En cuanto a plagas que atacan a las hojas se encuentran el gusano *Spodoptera* sp., y los áfidos *Aphis brassicae*. Para el control de los gusanos se deben realizar aplicaciones de cebos, a base de *Bacillus thuringiensis*, además de aplicaciones de *Trichogramma* sp. El pulgón se controla con diluciones conidiales a base de *Verticillium lecanii*.

Los insectos plaga asociados a este cultivo son palomilla dorso de diamante (*Plutella xylostella*), gusano del corazón de la col (*Copitarsia consuetata*), gusano falso medidor (*Trichoplusia ni*), gusano peludo (*Estigmene acrea*), pulgón cenizo de la col (*Brevicoryne brassicae*), chinche arlequín (*Murgantia histrionica*), chinche ligus (*Lygus* sp.), mosca de la raíz (*Hylemya* sp.) y minador de la hoja (*Liriomyza* sp.). Estos insectos están en la mayoría de las áreas productoras de col de México (Bujanos, 2000) ocasionando daños y pérdidas variables, dependiendo de la zona y condiciones de cultivo de cada región (Barrios D. B. et al., 2004). En el cuadro 3 se presentan las enfermedades más comunes.

CUADRO 3. Enfermedades más comunes en el repollo.

NOMBRE.		NOMBRE CIENTIFICO.
ESPAÑOL.	INGLES.	
Bacterias.		
Pudrición negra.	Black rot.	Xanthomonas campestris.
Pudrición blanda.	Bacterial soft spot.	Erwinia caratovora.
Necrosis marginal.	Bacterial marginal necrosis	Pseudomonas marginalis.
Hongos.		
Añublo lanoso.	Downy mildew.	Peronospora parasítica.
Mancha foliar.	Alternaría leaf spot.	Alternaría brassicae.
Sancocho.	Damping off.	Rhizoctonia solani.
Pudrición del tallo.	Wirestem bottom & head rot.	R. solani.
Podredumbre blanca.	White mold or sclerotinia rot.	Sclerotinia sclerotiorum.
Raíz agarrotada del repollo.	Clubroot.	Plasmidiophora brassicae.

FUENTE: EEA/UPR., 1999.

III.- Materiales y método.

3.1. Ubicación del experimento.

El trabajo de investigación se realizó en la Comarca Lagunera, la cual se encuentra conformada por 16 municipios: Gómez Palacio, Lerdo, Tlahualilo, Cuencamé, Mapimí, Nazas, Rodeo, San Pedro del Gallo, San Luís del Cordero, Simón Bolívar y San Juan de Guadalupe en el estado de Durango. Y Torreón, Matamoros, San Pedro de las Colonias, Viesca y Francisco I. Madero en el estado de Coahuila. Se encuentra ubicada entre los meridianos 102° 22' y 104° 47' longitud Oeste del meridiano de Greenwich y entre los paralelos 24° 22' y 26° 23' latitud Norte, a una altura de 1,123 msnm. El clima es de tipo desértico con escasa humedad atmosférica y una precipitación pluvial promedio entre 200 y 300 mm anuales.

3.2. Localización del experimento.

El presente experimento se llevó a cabo en el ciclo otoño-invierno del año 2009-2010, en el área experimental del Departamento de Riego y Drenaje dentro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN UL), ubicada en el periférico Raúl López Sánchez y carretera Santa Fe Km 1.5, en Torreón Coahuila, México.

3.3. Preparación del terreno.

La preparación del terreno consistió en labores tradicionales de acondicionamiento del suelo antes del trasplante. Se hizo barbecho, rastreo, empareje y formación de camas con el objetivo de dejar el suelo en condiciones óptimas para el desarrollo de la planta.

3.4. Diseño experimental.

Se utilizó un diseño bloques al azar con cuatro repeticiones. La parcela experimental constó de una superficie de 234 m², con camas de 1.5 m de ancho y 52 m de longitud. Se delimitaron las unidades experimentales marcando 8 m de longitud por 1.5 m de ancho obteniendo un área de 12 m². Las variables evaluadas fueron radiación fotosintéticamente activa (PAR), flujo de masa (W) y CO₂. Los datos obtenidos en campo fueron analizados empleando el programa computacional SAS ver 9.0.

3.5. Siembra.

La siembra se realizó el 21 de noviembre de 2009 de la semilla var. Capitata, en forma directa a una profundidad de 0.5 mm. Posteriormente se llevó a cabo el trasplante en el mes de enero del 2010, considerando en hilera sencilla un distanciamiento de 1.5 m. entre hileras y 0.40 m. entre plantas, y a doble hilera con un distanciamiento de 0.75 entre hileras y 0.40 m. entre plantas, resultando una densidad de 16,666 y 33,333 plantas por ha⁻¹.

3.6. Aclareo.

El aclareo se realizó el 16 y 17 de enero de 2010, eliminando las plántulas, para establecer la densidad deseada.

3.7. Sistema de riego.

Se aplicó riego por goteo con un gasto promedio por emisor de 0.5 litros por hora distanciados a 0.20 m, a una presión de 8 a 10 PSI; tomando como referencia los registros de la evaporación. Se aplicó dos riegos por semana durante 16 horas. Antes de la siembra se realizó un riego, durante el periodo invernal se aplicó se redujo debido a la mínima evapotranspiración de la planta, y a medida que la temperatura fue incrementándose disminuyó aún más el intervalo de aplicación.

3.8. Control de maleza.

Se eliminó en dos ocasiones maleza (deshierbe), que afectaba el desarrollo del cultivo. La primera se hizo a mediados del mes de febrero y la segunda a fines de marzo. Se utilizó materiales o instrumentos agrícolas, en este caso, estribo y azadón, ya que se hizo trabajo en forma manual. Sin embargo debido a la época en la cual se estableció el cultivo de repollo, sin presencia de lluvia y como resultado poca maleza, no se requirió aplicar herbicida para controlar la maleza.

3.9. Control de plagas.

En plagas, no se presentó ocurrencia que se considerara gravemente dañina para el cultivo, por lo tanto, no fue necesario aplicar plaguicidas. A excepción de pequeñas poblaciones de “Pulgón verde” (*Myzus persicae*) en algunas plantas de repollo, por lo que se aplicó un plaguicida orgánico llamado comercialmente INSECT SOAP bajo la dosis recomendada para su control.

3.10. Sistema portátil de fotosíntesis CI-340.

En la medición de los factores evaluados PAR, W, y CO₂ se utilizó el sistema portátil de fotosíntesis modelo CI-340. Este aparato cuenta con un diseño compacto y de estado sólido en estructura de pantalla, teclado, ordenador, memoria de datos, analizador de CO₂/H₂O de gas, sistema de control de flujo y de la batería. Con este se midió la radiación fotosintéticamente activa, flujo de masa, CO₂ interno, así como también la fotosíntesis, transpiración, conductancia estomática, etc.

IV.- Resultados y discusión.

4.1. Radiación fotosintéticamente activa (*PAR*).

La radiación fotosintéticamente activa en el follaje del repollo bajo diferente densidad de población se presenta en el cuadro 4. El análisis estadístico no detectó diferencia significativa entre las densidades de población. Presentando 1597.58 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en la densidad de 16,666 y 1612.17 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en 33,333 plantas ha^{-1} , respectivamente. Como se puede observar no se presentó diferencia estadística entre las densidades de población, lo que demuestra que la PAR no fue susceptible al incremento de la densidad, ya que tanto en 33,333 como 16,666 plantas ha^{-1} se encontraron resultados similares de radiación fotosintéticamente activa. Estos resultados sugieren que es recomendable incrementar la densidad de plantas para aumentar la absorción de la radiación fotosintética activa, ya que el rendimiento máximo es función directa de su índice de área foliar óptimo (cantidad de follaje requerido para interceptar 95% de la radiación incidente), el cual está determinado por la densidad de población (Zermeño et al., 2005). Patrones similares fueron encontrados por Montemayor et al., (2006), al probar las densidades de 55,000 y 74,000 plantas ha^{-1} en maíz, encontró resultados similares, mientras que en 111,000 plantas ha^{-1} obtuvo el mayor índice área foliar (IAF) y con ello una alta interceptación de Radiación. En alta densidad de población, se observa mayor área foliar, la cual induce a una mayor interceptación de radiación (Westgate et al., 1997).

4.2. Flujo de masa (W).

El flujo de masa en el follaje del repollo bajo diferente densidad de población se presenta en el cuadro 4. El análisis estadístico no detecto diferencia significativa entre las densidades de población. Presentando 0.284125 mmol/m²/s en la densidad de 16,666 planta ha⁻¹ y 0.284150 mmol/m²/s en 33,333 planta ha⁻¹, respectivamente. Como se puede observar el análisis estadístico para esta variable (W) no detecto diferencia significativa. Este resultado se atribuye a la Conductancia estomática, ya que, aparte de ser el factor determinante para el flujo de masa, presentó resultados similares entre las densidades de población evaluadas. Los estomas ejercen el mayor control a corto plazo en las relaciones hídricas de la planta debido a que controla la salida de agua (Squeo et al., 2007). El cierre de estomas impide la circulación de agua entre xilema y floema.

4.3. Dióxido de carbono (CO₂).

En contenido interno de dióxido de carbono en el follaje del repollo bajo diferente densidad de población se presenta en el cuadro 4. El análisis estadístico no detecto diferencia significativa entre las densidades de población. Presentando 361.46 umol/m²/s en la densidad de 16,666 plantas ha⁻¹ y 368.43 umol/m²/s en 33,333 plantas ha⁻¹, respectivamente. Como se puede observar los resultados obtenidos entre las densidades de población fueron estadísticamente similares. En base a que la radiación fotosintéticamente activa presento la misma uniformidad, y por consecuencia, lo mismo para la tasa fotosintética, genero como resultado la misma tendencia en el CO₂, ya que el factor que influye directamente sobre esta variable es la radiación solar absorbida y la eficiencia de utilización de esa energía para la fijación del CO₂ (Chiese, 2000), la cual se traduce en una mayor tasa fotosintética.

CUADRO 4. Radiación fotosintéticamente activa (PAR), flujo de masa (W), y CO₂ en el follaje del repollo bajo diferente densidad de población.

Densidad de población (Plantas ha ⁻¹)	FACTORES EVALUADOS.		
	PAR (Umol/m ² /s).	W (Mmol/m ² /s).	INT_CO ₂ . (Umol/m ² /s).
16, 666	1597.58	0.284125	361.46
33, 333	1612.17	0.284150	368.43

V. CONCLUSION.

De acuerdo a los resultados y condiciones bajo las cuales se desarrolló el presente trabajo se concluye que:

- La radiación fotosintéticamente activa (PAR), flujo de masa y contenido interno de CO₂ en el follaje del repollo fueron similares bajo las densidades de población evaluadas.

Literatura citada.

- Barrio D. B., Alatorre R. R., Calyecac C. H. G., Bautista M. N., 2004. "Identificación y fluctuación poblacional de plagas de col (*Brásica olerácea* var. *capitata*) y sus enemigos naturales en Acatzingo, Puebla". *Agrociencia*. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México.
- Bora G. C., Deka B. C., Shadeque A., 1992. "Efecto de distintos niveles de nitrógeno y el espaciamiento en el rendimiento de la cabeza de repollo (*Brásica olerácea* L. var. *capitata*)". *Agric. Ciencia*. Indiana. Pp. 527-528.
- Bujanos M. R. 2000. "Manejo integrado de plagas en crucíferas". *Temas Selectos en Fitosanidad de Hortalizas*. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. Montecillo Texcoco, México. Pp: 47-61.
- Carranza C., 2008. "Modelo simple de simulación de distribución de masa seca en brócoli (*Brásica* sp.) variedad coronado y repollo (*Brásica olerácea*) híbrido Delus cultivados en la sabana de Bogotá". *Universidad Nacional de Colombia, Agronomía Colombiana*, pp. 23-31.
- Carrasco R. L., 2009. "Efecto de la radiación ultravioleta-B en las plantas". *IDESIA* [online]. Universidad de Tarapacá. Facultad de Ciencias Agronómicas Chile. vol. 27, No. 3, diciembre. Pp. 59.
- Castaños C. M., 1993. "Horticultura". *Colección Manejo simplificado*. Universidad Autónoma de Chapingo, 1era. Edición, México. Disponible en: <http://www.chapingo.uruza.edu.mx/horticultura.pdf>.

- Cecilio F. A. B., Cavarianni R. L., Caetano C. J. C., Mendoza C. J. W., 2004. "Crecimiento y producción de repollo en función de la densidad de población y nitrógeno". Universidad Estatal Paulista. Jaboticabal, São Paulo, Brasil. Artículo en Agrociencia. Volumen 45, número 5 Pág. 574.
- CENTA, 2003. "Cultivo del repollo". Guía técnica No. 16. Centro nacional de tecnología agropecuaria y forestal. El Salvador. Pp. 8.
- Chiesa J., Luque S. F., Cantarero M. G., 2000. "Fijación de carbono por los doseles de los cultivos". Fisiología de los cultivos. Universidad del Estado de Princeton Pp. 1.
- De la casa y Col. A., 2003. "Estimación del radiación solar global en la provincia de Córdoba, Argentina y su empleo en un modelo de rendimiento potencial de papa". Ciencia, docencia y tecnología N° 35, Noviembre. INTA. Argentina. Pp. 45-62.
- EEA/UPR. (Estación experimental agrícola), 1999. "Conjunto tecnológico para la producción de repollo". Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, Colegio de Ciencias Agrícolas. San Juan, Puerto rico.
- FAO 2009. Representación de la FAO en México. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Más de 60 años de cooperación. 1945 – 2009. pág. 41. http://www.fao.org.mx/documentos/libro_fao.pdf.
- Ferree D.C., 1980. "Desarrollo y la eficiencia de producción de árboles de manzana (*Golden Delicious*) en cuatro sistemas de gestión". Orchard. J. Amer. Soc. Hort. Ciencia. 105 (3): Pp 30.

- Filgueira F. A. R., 2000. "Brássica: coles y otros cultivos". Manual de Cultivos Vegetales. Agrotecnología Moderna de Producción y Comercialización de Hortalizas. UFV, Viçosa. Pp: 269-285.
- Fuentes E. F., Pérez J., 2003. "Cultivo del repollo" Guía técnica No. 16. Centro nacional de tecnología agropecuaria y forestal. El Salvador. pág. no. 7.
- Garcés J., 2000. "Manejo integrado de semilleros para Brassicaceae". Primer seminario internacional de Brassicaceae. Fundación Ecuatoriana de Tecnología Apropriada (FEDETA), Quito, Ecuador, Pp. 21.
- Gardner F. P., Pearce B., Mitchell R. L. 1985. "La fijación de carbono por los doseles de los cultivos". En: Fisiología de los cultivos. Por la Universidad del estado de Princeton. Pp. 1.
- Gispert C., 1999. Enciclopedia practica de agricultura y ganadería. Barcelona, España por Editorial Océano P. 559-561.
- Grazia J., Tissonell P. A., Chiesa A., 2001. "Efecto de la época de siembra, radiación y nutrición nitrogenada sobre el patrón de crecimiento y el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.)". Cátedra de Horticultura y Floricultura, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Argentina. Vol. 16. Pp 356.
- Grossi G. H. 2003. "Estimación de la distribución espacial en Argentina de la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR)". En Anais do XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, vol.1, Santa María, RS, Brasil Pp. 543-544.

- Gutiérrez P. D. 2010. "Aclimatación de la fotosíntesis en el dosel vegetal del trigo al aumento del CO₂ atmosférico. Función del nitrógeno y las citoquininas en cultivos en cámaras de campo con clima mediterráneo." Tesis Doctoral. Facultad de Biología. Departamento de Fisiología Vegetal. Universidad de Salamanca. Pp. 9.
- Hernández G. 2002. "Transpiración". Librobotánicaonline. Departamento de botánica, Facultad de ciencias forestales y ambientales, Universidad de los Andes.
- Hernando M., Román N. S. 2006. "Efectos de la radiación solar ultravioleta sobre el fitoplancton de aguas del canal".
- Herrera H. C. A., Jaramillo J., Pinzón H., Sánchez G. 2002. "Taller de hortalizas productividad-mercadeo 2002". Revista técnica Corpoica & ventana al campo. Bogotá, D. C., Colombia. Pp. 14.
- Hidalgo L., 2007. "Guía técnica del cultivo de la col". Datos sin publicar.
- Huerres C., Carballo N., 1988. Horticultura. Editorial Pueblo y Educación. La Habana- Cuba p.54-p69.
- Iglesias N., Muñoz A., 2007. "Comparación de la transmisión de la radiación fotosintéticamente activa (par) en invernaderos del norte de la Patagonia". general roca, Río negro, Argentina.
- Ilbay J., 2009. "Estudio bioagronómico de 16 de cultivares de coliflor (Brássica olerácea var L. botrytis). Tesis titulada.

- Infoagro. 2008. "Cultivo de hortalizas. Disponible en: <http://www.infoagro.com/hortalizas/col.htm>.
- INTA, 2006. "Manejo integrado del cultivo del repollo". Guía técnica, Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. www.inta.gob.ni Managua, Nicaragua Pp. 2.
- Jaramillo N. J. E., Díaz D. C. A. 2005. (compiladores). El cultivo de las crucíferas. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria- CORPOICA, centro de investigación la selva, rio negro, Antioquia, Colombia. Manual técnico 4. 176 páginas.
- Kohashi, S. J. 1990. aspectos de la morfología y fisiología del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y su relación con el rendimiento. Centro de botánica. cp. Chapingo, México. pp. 38-40.
- Kowal J. y Barker A. V. 1981. "Crecimiento y composición de la col afectada por la nutrición de nitrógeno". Planta Anual. Pp. 12.
- Leskovar D. L. 2001. "Producción y ecofisiología del trasplante hortícola". Organizado por la UAAAN Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- López D. M. G., 2009. "Distribución y fitodisponibilidad de metales pesados (sb, hg, as) en los jales de la mina de antimonio de wadley, estado de San Luis Potosí". Tesis presentada. (UNAM) Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra. Pp. 31.
- Mayorga C. F. J., 2001. "La col y col de Bruselas en México, dos hortalizas con mercados específicos". Revista mensual producida y editada por Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria, Órgano Desconcentrado de SAGARPA. Pág. no. 4.

- Merck A., 2006. Teoría de la reflexión térmica solar. Merck División Industrial
www.merck.de.com.
- Nogueira F. D., Faquín V., Paula M. B. 1983. Los suelos, cal y fertilizantes a
género Brásica. Agricultura Pp. 21-29.
- Ocaña M., 2009. “Resumen del temario de fisiología forestal 1º forestales”.
Universidad de Huelva. 2008/2009. Pp. 16.
- Padilla W., 2000. “Fisiología, estudios de extracción de nutrientes y fertirrigación
en el cultivo de Brassicaceae (Repollo)”. Primer seminario internacional de
Brassicaceae. Fundación ecuatoriana de tecnología apropiada (FEDETA).
Quito, Ecuador. Pp. 70.
- Peck N. H., 1981. “Las respuestas de las plantas de col a nitrógeno
la fertilización. Agronomía Pp. 21-29.
- Pletsch R., 2006. “El cultivo del repollo”. Instituto Nacional de Tecnología
Agropecuaria.
http://www.4shared.com/office/hlrwznup/el_cultivo_del_repollo.html.
- Raffo M. D., Iglesias N., 2004. “Efecto de la intercepción y distribución de la
radiación fotosintéticamente activa en manzanos cv. fuji, bajo cuatro
sistemas de conducción en alta densidad”. INTA, Argentina.
- Reigoza M., Sánchez A., Pedro L. N. 2003. “La ecofisiología una ciencia de
síntesis”. Editorial Thomson. segunda impresión, Madrid, España. Pp. 8,9.
- Reyes M., Martínez D., 2001. Revista ciencia y cultura. Pp. 38.
- Rivera A., Navarro A., 2010. “Procedimiento para determinar la eficiencia de
conversión de la radiación fotosintéticamente activa (ecrfa) en el cultivo de

frijol, *Phaseolus vulgaris* l. var. negro-150 Armenta Castro, c. m.1". Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco e Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca.

SAGARPA, 2008. "Producción de hortalizas en México". Dirección General Adjunta de Fomento y Promoción de Negocios, Dirección Ejecutiva de Diseño de Programas y Productos. Pág. no 5.

SAGARPA, FIRCO, 2008. Estudio de infraestructura logística hortofrutícola en el sur del país: Guerrero, Morelos, Puebla, Tlaxcala, Oaxaca, Chiapas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán. http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/FDTAFT.pdf.

Salisbury B. F., C. W. Ross. 1992. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana. México, D.F. 759 p.

Sarita, V. V. 1993. "Cultivo del repollo". Fundación de desarrollo agropecuario Inc. Serie cultivo. Boletín técnico no. 18. Santo Domingo, República Dominicana.

Segura R., Lardizábal R., 2008. "Producción de repollo". Manual técnico. programa de diversificación económico rural (usaid-red). pág. 1.

Shany M. 2005. Manual agro técnico para el cultivo hortícola intensivo en Nicaragua. Centro de Cooperación Internacional de Israel (MASHAV) USAID / Universidad Estatal de Michigan (MSU) IICA Nicaragua. Pág. 13.

Sharkey T. D., Bernacchi C. J., Farghvar G. y Singaas E. L. 2007. "Montaje de las curvas de dióxido de carbono fotosintético de las hojas de respuesta C3". Planta de Medio Ambiente de la célula. Pp. 30, 1035-1040.

- Squeo F. A., León M. F., 2007. "Transpiración". Fisiología Vegetal. Capítulo III. Ediciones Universidad de La Serena, Chile (2007) 3: 67-84
- Suquilanda M., 1996. "Agricultura orgánica". Alternativa tecnológica del futuro. Fundación para el desarrollo agropecuario. Quito, Ecuador. Pp 9, 10.
- Taiz, L.; Zeiger, E. 2002. Fisiología Vegetal, Tercera edición. Sinauer Associates Inc. Sunderland Massachusetts EE.UU. p.193-219.
- Taiz Z. 2006. Fisiología Vegetal. Collección Ciències experimentals. Universitat Jaume I Plant. Physiology. Sinauer Associates, Inc.
- Torres C., 2002. "Manual Agropecuario. Tecnologías orgánicas de la granja autosuficiente" Editorial Limerín, primera reimpresión. Bogotá, (Colombia) 86, 88 Pp.
- Trani, P. E. G. A. Groppo, M. C. P. Silva, K. Minami, y T. J. Burke. 1999. Diagnóstico sobre la producción de hortalizas en Estado de Sao Paulo. Hort. Bras. 15 (1): 19-24.
- Urbano A., Villalobos C., 2002. "Efecto de la radiación sobre las plantas". Disponible en: <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/tema-3/efecto-de-la-radiacion-sobre-las-plantas.pdf>
- Zermeño G. A., Montemayor T. J. A., Munguía L. J., Ibarra J. L., Cadena Z. M., 2005. "Reflectividad y absorptividad de la radiación en tres densidades de planta y su relación con el rendimiento de maíz (variedad Cafime)". Departamento de Riego y Drenaje. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.

APENDÍCE.

APENDICE 1. Análisis de varianza para radiación fotosintéticamente activa (PAR) en el follaje del repollo.

Fuente.	DF.	Suma de cuadrados.	Cuadrado de la media.	F-Valor.	Pr > F
Modelo	2	851.61831	425.80915	0.06	0.9421
Error	5	35252.33361	7050.46672		
Total corregido	7	36103.95192			

APENDICE 2. Análisis de varianza para flujo de masa (W) en el follaje del repollo.

Fuente.	DF.	Suma de cuadrados.	Cuadrado de la media.	F-Valor.	Pr > F
Modelo	2	0.00000000	0.00000000	0.00	0.9999
Error	5	0.00006106	0.00001221		
Total corregido	7	0.00006106			

APENDICE 3. Análisis de varianza para contenido interno de CO₂ en el follaje del repollo.

Fuente.	DF.	Suma de cuadrados.	Cuadrado de la media.	F-Valor.	Pr > F
Modelo	2	194.379364	97.189682	0.14	0.8708
Error	5	3416.083557	683.216711		
Total corregido	7	3610.462922			