

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**



**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL AGUA EN EL CULTIVO DE
REPOLLO (*Brassica oleracea* var. *capitata*) BAJO DISTINTOS
TIPOS DE ACOLCHADOS**

T E S I S

**COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TITULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTA

MARÍA MAGDALENA VÁZQUEZ MEDINA

**DIRECTOR
DR. FIDEL NÚÑEZ RAMÍREZ**

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

DICIEMBRE DEL 2022

**Evaluación del rendimiento del agua en el cultivo de repollo
(*Brassica oleracea* var. *capitata*) bajo distintos tipos de
acolchados**

TESIS

Sometida a la consideración del programa de Ingeniero Agrónomo

Del

Instituto de Ciencias Agrícolas

Por

María Magdalena Vázquez Medina

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

DICIEMBRE DEL 2022

La presente tesis titulada "Evaluación del rendimiento del agua en el cultivo de repollo (*Brassica oleracea* var. *capitata*) bajo distintos tipos de acolchados, realizada por la C. María Magdalena Vázquez Medina; bajo la dirección del Dr. Fidel Núñez Ramírez, fue aceptada, revisada y aprobada, por el Comité Particular abajo indicado como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Comité particular

Director 

Dr. Fidel Núñez Ramírez

Sinodal 

Dr. Juan Carlos Vázquez Angulo

Sinodal 

Dra. María Isabel Escobosa García

AGRADECIMIENTOS:

A Dios primeramente agradezco por la vida y salud, así como la oportunidad de disfrutar y compartir con mi familia y amigos los logros más importantes en mi vida, porque en todo momento me dio las fuerzas y no me dejó flaquear ni perder la fe en los momentos más difíciles.

A mis padres agradezco por darme la vida, así como la confianza que han depositado en mí, el apoyo incondicional que me han brindado para poder cumplir mis metas, por el esfuerzo que durante toda mi vida han realizado, asegurándose de darme lo mejor y formarme para ser la persona que soy hoy en día.

Agradezco a Jesús Ríos por confiar y creer en mí, por motivarme a hacer todo aquello que me propusiera, porque siempre estuvo presente brindándome su apoyo incondicional.

Agradezco a mis herma@s y familia que directa o indirectamente han contribuido con mi formación, así como a todas las personas que me han compartido de su conocimiento y experiencias tanto en mi vida personal como académica.

En especial agradezco a mi director de Tesis

Dr. Fidel Núñez Ramírez.

Le agradezco su gran apoyo en mi trabajo de tesis, su tiempo, paciencia y por estar pendiente desde el inicio hasta el final.

Así también agradezco al comité de mi tesis:

Dr. Juan Carlos Vázquez Angulo

Dra. Isabel Escobosa García

Muchas gracias a todos.

DEDICATORIA:

A mis padres dedico este logro, como un resultado de su ayuda y motivación, con este trabajo pueden ver reflejado los esfuerzos que han realizado durante toda mi vida y porque me enseñaron a luchar y salir adelante eliminando todos obstáculos que se me presentaron.

Dedico también este trabajo a mi familia, Jesús Ríos y Regina Ríos porque durante mi formación todos ustedes estuvieron presentes y son parte de este logro.

Y por último a mi director de tesis:

Dr. Fidel Núñez Ramírez

ÍNDICE

CONTENIDO	Página
ÍNDICE DE CUADROS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
JUSTIFICACIÓN	12
I. INTRODUCCIÓN	13
II. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo general	15
2.1.1 Objetivos específicos	15
III. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS	16
3.1 Hipótesis nula	16
3.2 Hipótesis alterna	16
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	17
4.1 Descripción botánica del cultivo de repollo	17
4.2 Mulch o acolchados	18
V. MATERIALES Y MÉTODOS	19
5.1 Ubicación del estudio y condiciones ambientales	19
5.2 Siembra y topología del cultivo	19
5.3 Logística del experimento	20
5.4. Fertilización y riegos	21
5.5. Malezas y plagas	22
5.6. Muestreo del extracto celular	23
5.7. Temperatura foliar	23

	7
5.8. Cosecha y rendimiento	24
5.9. Eficiencia en el uso del agua	24
5.10. Análisis estadístico	24
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
6.1. Condiciones de clima	25
6.3. Nitratos y Potasio en EC	26
6.4. Temperatura de la planta	27
6.5. Rendimiento	29
6.6. Eficiencia en el uso del agua	30
VII. CONCLUSIONES	33
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Concentración de nitratos (NO_3) y potasio (K) en el extracto celular de la nervadura central del cultivo de repollo por efecto de diferentes tipos de acolchados.	27
Cuadro 2. Rendimiento de biomasa fresca, peso del repollo, peso de las hojas e índice de cosecha en el cultivo de repollo por efecto de diferentes tipos de acolchados.	30
Cuadro 3. Eficiencia en el uso del agua en el cultivo de repollo por efecto de diferentes tipos de acolchados.	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de los tratamientos en el experimento de riego por goteo.	20
Figura 2. Calendario de fertirrigación. [Los valores que se presentan equivalen a kg por una superficie de 1000 m ²]......	22
Figura 3. Evolución de las temperaturas máximas y mínimas en el cultivo de repollo (Mexicali, B.C. México)......	25
Figura 4. Temperatura foliar del cultivo de repollo por el efecto de diferentes tipos de acolchados.	29

RESUMEN

El uso del acolchado en suelo para producir hortalizas incrementa el rendimiento y la calidad de los productos cosechados, sin embargo, estos incrementos se encuentran condicionados al tipo de acolchado, ya sea plástico u orgánico. Se realizó un experimento en el cultivo de repollo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) durante la temporada de 2021-2022, con el objetivo de evaluar su respuesta sobre la eficiencia en el uso del agua, nutrición mineral y rendimiento a cuatro tipos de acolchados en suelo. Se evaluaron cuatro tratamientos (suelo con acolchado plástico color negro, color blanco, acolchado con paja de trigo y un control sin acolchar) distribuidos bajo un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Los resultados mostraron que el acolchado plástico blanco incrementó la biomasa total, el peso del repollo y peso de las hojas, en comparación al resto de los tratamientos. El uso de ambos acolchados plásticos (blanco y negro) incrementó la concentración de nitratos en el extracto celular de la nervadura central. La temperatura foliar incrementó solo por el uso del acolchado plástico negro. Finalmente, la eficiencia en el uso del agua resultó mayor en los tratamientos con acolchado plástico y menor en el suelo sin acolchar. Considerando la mayor eficiencia en el uso del agua, rendimiento y nutrición mineral se concluyó que el suelo con acolchado plástico (blanco o negro) es el más recomendable para producir repollo en el valle de Mexicali, México.

ABSTRACT

The use of mulch in soils to grow vegetables can increase the quality and yield of harvested products. However, these results are conditioned by the kind of mulch, (p.e. organic or synthetic as plastic). A field experiment on cabbage crop (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) during the season 2021-2022, was conducted to evaluate the response on water use efficiency, mineral nutrition and yield to four kinds of soils mulches. Treatments evaluated (black plastic mulch, white plastic mulch, straw wheat mulch and a bare soil as control) were distributed on a randomized block design with four replicates. Results shown that white plastic mulch increase the total biomass, head cabbage weight, and weight of leaves, as compared with to the rest of treatments. The use of both plastics mulches (white and black), increase nitrate and potassium concentrations on extract cellular of petiole-midrib. The leaves temperature increases with the use of black plastic mulch. Finally, the water use efficiency results higher on soil plastics mulches and lowest with bare soil. Taking in consideration the highest water use efficiency, yield and mineral nutrition, it is concluding that soils with plastic mulches (black or white) it is most recommendable for grown cabbage on Mexicali valley, México.

JUSTIFICACIÓN

El presente documento versa sobre la utilidad en el uso de suelo con acolchado a fin de alcanzar altos rendimientos en repollo, así como hacer un mayor uso eficiente del agua de riego. El experimento se realizó en el cultivo de repollo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) durante la temporada de 2021-2022, con el objetivo de evaluar su respuesta sobre la eficiencia en el uso del agua, nutrición mineral y rendimiento a cuatro tipos de acolchados en suelo. Los resultados obtenidos dan oportunidad de que los productores puedan escoger entre los tipos de acolchados para hacer eficiente la aplicación de agua de riego. Lo anterior trae consigo una reducción de la aplicación de agua de riego y posiblemente una mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes. Lo anterior debido a que se puede obtener un mayor rendimiento con una lámina de riego más pequeña.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente en el valle de Mexicali en el noroeste de México, existe una dinámica de reconversión de cultivos, debido a que se presenta una baja rentabilidad en la producción de los mismos. Cultivos como algodón (*Gossypium hirsutum* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.) y alfalfa (*Medicago sativa* L.) han sido gradualmente reemplazados por cultivos hortícolas. De todas las hortalizas cultivadas sobresalen aquellas producidas durante el invierno. Entre ellas destacan crucíferas como el brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*), la coliflor (*Brassica oleracea* var. *Botrytis* L.), la col de bruselas (*Brassica oleracea* var. *gemmifera*) y el repollo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* (Atlas-Agroalimentario-2020. 2020) (Robinson, 2010).

En general estas hortalizas se manejan bajo sistema de riego presurizado, en su mayoría riego por goteo, aunque recientemente se ha introducido la técnica de la plasticultura. Esta tecnología permite modificar el medio de crecimiento e incrementar el rendimiento y calidad de los productos cosechados. Al respecto, la modificación del ambiente del suelo a través de los acolchados impacta directamente en el desarrollo y crecimiento de los cultivos (Kader *et al.*, 2017). Lo anterior es resultado a que según el tipo de acolchado, la temperatura, la humedad y algunas propiedades físicas y biológicas del suelo resultan modificadas (Mulumba y Lal, 2008). Usualmente se utilizan acolchados plásticos de diferente color (Amare y Desta, 2021) y acolchados orgánicos provenientes de residuos de cosecha (Li *et al.*, 2013).

En Mexicali, Baja California, México, se experimenta un crecimiento en la superficie establecida en un grupo de cultivos pertenecientes a las crucíferas. Entre ellos destaca la producción de repollo. Lo anterior se debe a que es uno de los más promisorios en cuanto a obtener alto rendimiento por unidad de agua aplicada. Sin embargo, no existe información local que cuantifique el efecto que tiene el uso de diferentes tipos de acolchados sobre el cultivo. El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia en el uso del agua, el rendimiento y calidad, y el estado nutrimental del cultivo de repollo por efecto de diferentes tipos de acolchado.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Identificar el efecto de diferentes tipos de acolchado sobre sobre la eficiencia del uso del agua, el estado nutrimental y el rendimiento del cultivo de repollo.

2.1.1 Objetivos específicos

2.1.1.1 Identificar el efecto de diferentes tipos de acolchado sobre sobre la eficiencia del uso del agua en el cultivo de repollo.

2.1.1.2 Identificar el efecto de los distintos tipos de acolchado sobre la concentración de nitratos y de potasio en el extracto celular en el cultivo de repollo.

2.1.1.4 identificar el efecto de los diferentes tipos de acolchado sobre el rendimiento de las plantas del cultivo de repollo.

III. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis nula

El uso de cualquier tipo de acolchado sobre el cultivo de repollo no tiene algún efecto sobre la eficiencia del uso del agua, el estado nutrimental, y el rendimiento del cultivo de repollo.

3.2 Hipótesis alterna

El uso de cualquier tipo de acolchado sobre el cultivo de repollo tiene algún efecto sobre la eficiencia del uso del agua, el estado nutrimental, y el rendimiento del cultivo de repollo.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Descripción botánica del cultivo de repollo

El repollo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.) es una planta herbácea, dicotiledónea, la cual se cultiva anualmente. Pertenece a la familia botánica Brassicaceae. El cultivo de repollo presenta un tallo generalmente no ramificado, corto y grueso. Sus primeras hojas son de superficie lisa y carnosas, estas se expanden completamente alcanzando hasta 45 cm de largo y 30 a 40 cm de ancho.}

Las próximas hojas del tallo son más pequeñas y estrechas, se mantienen firmes y dobladas hacia el centro de la planta. Como resultado se va formando una cabeza a partir de un denso desarrollo de hojas que siguen una secuencia en forma de espiral alrededor del punto de crecimiento.

Mediante crece la roseta al generar presión se vuelve más compacta, genera firmeza y aumenta su peso hasta ser considerada aceptable para cosecha, terminando así su periodo de formación del repollo. El sistema de raíces es moderadamente superficial, se concentran en los primeros 20 a 30 cm de profundidad. Su inflorescencia es tipo racimosa, presenta flores perfectas de color blanco o amarillento.

El cultivo del repollo es considerado como un cultivo de época fría, aunque se considera que la temperatura óptima para su crecimiento y desarrollo es de 15 a 20 °C. Por otro lado, las plantas de repollo requieren de suelos uniformes que guarden humedad y así mismo que su estructura brinde un buen drenaje.

4.2 Mulch o acolchados

El término acolchado refiere a cubrir la superficie del suelo con restos de residuos vegetales o de otros materiales considerados como sintéticos. (Marble, 2015). Para el caso de los materiales orgánicos con los que se puede recubrir el suelo, se encuentran las pajas, hojarascas, tallos de otros cultivos, cáscaras de algunas frutas; también podría ser aserrín, papeles u otros con los cuales se puede crear ciertas condiciones ambientales para beneficio de los cultivos (Mahood, et al., 2015).

Por otro lado, en lo concerniente a la tecnología del uso de los plásticos como acolchados, esta comenzó entre 1950 y 1960. La tecnología se dio con el desarrollo e introducción de los sistemas de riego presurizado o por goteo. Esta tecnología incluye la utilización de materiales a base de polietileno o plástico, y recientemente se han desarrollado materiales biodegradables a la exposición de la luz solar, con el fin de evitar la contaminación (Stobdan, 2015).

El uso de plásticos, ha incrementado el rendimiento por unidad de superficie de siembra, así como el uso eficiente del agua por su ahorro en la obtención de productos agrícolas, productos más limpios y de mejor calidad, eficiente uso de recursos hídricos, reducción de malezas, etc. (Stobdan, 2015)

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Ubicación del estudio y condiciones ambientales

El experimento se estableció en terrenos del Campo Agrícola Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas ubicado en el Ejido Nuevo León, B. C., coordenadas 32° 24' latitud norte y 115° 11' longitud oeste. En esta región agrícola prevalece clima desértico cálido, extremoso en demasía y régimen de lluvias en invierno (BW [h'] hs [x'] [e']) (García,1970). Las condiciones de temperatura fueron tomadas de una estación meteorológica ubicada a 450 metros del sitio de experimentación (Figura 1). En este sitio, el suelo posee textura arcillosa tipo Vertisol hiposálico calcárico.

5.2 Siembra y topología del cultivo

La siembra se realizó el día 19 de octubre del 2021, de forma manual, en charolas de poliestileno de 26 x 12, dando un total de 312 plantas por charola, se utilizó la variedad Charmant (F1 Hybrid) [Sakata Seed America, Inc. U.S.A.], así mismo se utilizó sustrato BM 2HP (ingredientes: Turba de esfagno fina (77-83%), perlita fina (8-12%), vermiculita fina (8-12%), agente humectante, cal calcítica y dolomítica).

Las plantas se mantuvieron durante dos meses bajo condiciones de invernadero, en donde en una parte del día recibían luz, y además se mantenían con buena humedad, durante ese tiempo se les aplicó enraizador (Raíz Plus [Promotora Técnica Internacional S.A. de C.V., México]) para ayudar a la formación de raíces.

El trasplante en campo se realizó el día 10 de diciembre del 2021, a una densidad de 3.4 plantas por metro, y se colocaron bajo riego por goteo en todo el experimento. Para ello se instaló un sistema de riego por goteo con doble cintilla (Toro, aqua-Traxx, San Nicolas de los Garza, N. México [gasto por gotero: 1 L h⁻¹; separados a 20 cm]).

La superficie del experimento fue de 307.2 m² dividido en dos partes cada una con las mismas medidas (25.6m largo y 6m ancho) la cual a su vez se dividió en 16 parcelas de 19.2m² con dos camas cada una, orientados de norte a sur además al centro de ellas un metro de distancia para utilizarlo como camino.

5.3 Logística del experimento

Los tratamientos evaluados bajo el sistema de riego por goteo fueron cuatro tipos de acolchado: negro, blanco, paja y desnudo, identificados como T1, T2, T3 y T4 respectivamente, las cuales se distribuyeron bajo un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones (Figura 1).

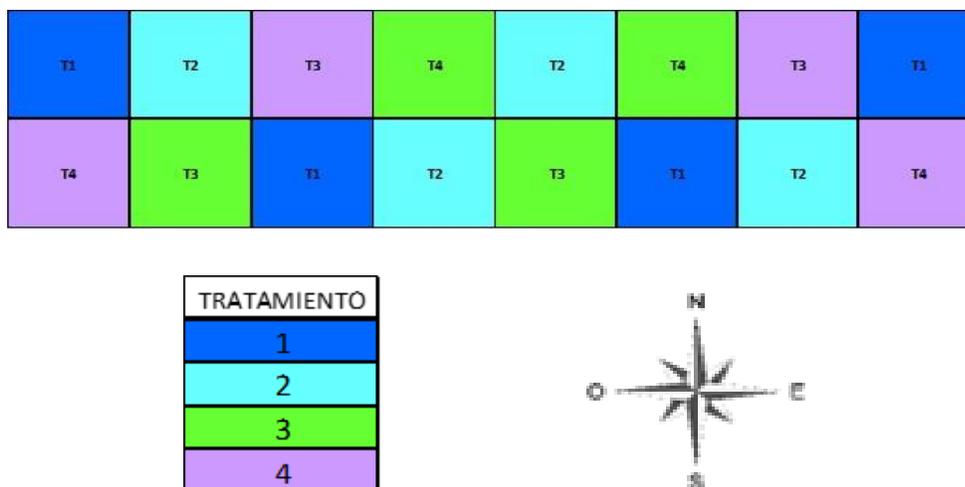


Figura 1. Distribución de los tratamientos en el experimento de riego por goteo.

T1= acolchado plástico negro, T2= acolchado plástico blanco, T3= acolchado con paja de trigo y T4= suelo desnudo.

Para el tratamiento de paja de trigo, esta se colocó justo dos semanas después del trasplante, utilizando aproximadamente 500 g de paja por cada metro lineal. Como parcela útil se cosecharon 6 plantas centrales de cada tratamiento.

5.4. Fertilización y riegos

Desde el trasplante hasta los 35 días después del mismo, se aplicó una lámina de riego de 100 mm a todos los tratamientos. Posteriormente se instalaron tensiómetros de humedad (Irrometer Co. Riverside CA, E.U.) en cada tratamiento a 30 cm de profundidad para comenzar a monitorear las lecturas de los mismos y regar conforme los valores que nos arrojaban los tensiómetros.

De los 35 a los 50 días después del trasplante (ddt), cada riego se realizó cuando el tensiómetro alcanzo lecturas de 20 kPa. Conforme la planta se desarrollaba hubo un aumento en la demanda del agua, así que a los 45 ddt, se cambió nuestro valor de referencia a 10 kPa. Cuando un tensiómetro tenía el valor de referencia se regaba 2 horas, en el último mes al incrementar la demanda de agua se comenzó a regar 3 horas cuando se requería.

Se aplicó un sistema de fertirrigación, que comenzó a los 28 días DDT, se aplicó de forma semanal fraccionada una dosis de 320, 90, 200, 38 y 15 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg). Las fuentes de fertilizantes empleados, así como las dosis y fechas de aplicación se muestran en la Figura 2. Las dosis que se muestran fueron aplicadas a cada tratamiento por separado diluidos respectivamente en un tambo de 200 litros para posteriormente ser bombeados al sistema de riego.

Calendario de Fertirrigación								
Fecha	DDT	Semana	Urea	Nitrato de amonio	Acido fosfórico	Sulfato de potasio	Sulfato de Magnesio	Nitrato de calcio
10-dic	Trasplante	1						
17-dic	7	2			0.4			
24-dic	14	3			0.4			
31-dic	21	4						
07-ene	28	5	5.6		0.4			
14-ene	35	6	1.4		0.4			
21-ene	42	7	1.4		0.4			
28-ene	49	8	1.4		0.4	2.26		
04-feb	56	9	1.2	0.08	0.4	1.13		0.65
11-feb	63	10	1.2	0.08		1.13		0.65
18-feb	70	11	1.2	0.08		1.13	0.63	0.65
25-feb	77	12	1.2				0.63	0.65
04-mar	84	13	1.2				0.63	0.65

Figura 2. Calendario de fertirrigación. [Los valores que se presentan equivalen a kg por una superficie de 1000 m²].

5.5. Malezas y plagas

Durante los primeros meses de desarrollo del cultivo se presentaron malezas como zacate grama (*Cynodon dactylon*) controlado con Select ultra (*Clethodim*) a razón de 10ml/L. También hubo presencia de quelites (*Chenopodium murale*) y lechuguilla (*Sonchus oleraceus*) estas malezas fueron controladas manualmente realizando escardes.

Se presentaron incidencias moderadas de pulgón que fueron controladas con Aval (*Acetamiprid*) y Piremax (Piretrinas), también hubo presencia de palomilla dorso diamante (*Plutella xylostella*) durante las primeras semanas ddt controlado con Hero (Zeta-Cypermethrin) y Velsor 600 (Metamidofos), la incidencia mayor fue de trips (*Thrips tabasi*) controlada con Confidor (Imidacloprid) y Senvicid (Extractos naturales de *Capsicum frutescens*, *Allium canadense*, y *Anemone multifida*).

Así mismo se realizaron dos aspersiones foliares de herbicida Clethodim en el tratamiento suelo desnudo con el objetivo de controlar grama común (*Cynodon dactylon*).

5.6. Muestreo del extracto celular

A los 54, 80 y 88 ddt se realizaron muestreos de los peciolo más uniformes de cada tratamiento. El muestreo consistió en coleccionar 5 peciolo de las hojas más recientemente maduras por tratamiento, se llevaron al laboratorio del Instituto de Ciencias Agrícolas donde se congelaron (-1 °C) para posterior análisis, el objetivo fue medir la concentración de nitratos (NO₃) y de potasio (K) en el extracto celular (EC).

Para llevar a cabo el análisis se descongelaron las muestras y utilizando una prensa de ajos se extrajo el extracto celular (EC). Las determinaciones de NO₃ y K, se realizaron utilizando un ionimetro portátil (LAQUAtwin B-743, Horiba, Kyoto, Japan).

5.7. Temperatura foliar

A los 87 ddt se realizó una medición de temperatura justo en la cabeza de la planta de repollo. Esta variable se obtuvo en un horario de 12:00 a 13:00 h del día, la medición se realizó a diez plantas de cada tratamiento. Se utilizó un termómetro infrarrojo (Fluke 574, Fluke Co., Everett, WA, E.U) para posteriormente obtener un promedio. Adicionalmente se consideró la temperatura ambiental durante el desarrollo de esta actividad (Erdem *et al.*, 2010).

5.8. Cosecha y rendimiento

La cosecha se realizó a los 100 días ddt. Para evaluar el rendimiento de las plantas por tratamiento se seleccionó un área de 3.5 m² de la parte central de cada parcela experimental y se colectaron seis plantas completas. Se pesó la planta completa y después se quitaron las hojas que cubrían la cabeza o repollo (cosecha comercial) y ambas partes se pesaron por separado. Con ambos datos, se obtuvo el índice de cosecha.

5.9. Eficiencia en el uso del agua

Para evaluar la eficiencia del uso del agua en los diferentes tipos de acolchado utilizamos tensiómetros con la finalidad de aplicar solo el agua que las plantas requerían. La eficiencia en el uso del agua se obtuvo para la planta completa, la cabeza o repollo y para las hojas de la planta. Esta variable se obtuvo luego de dividir la biomasa del cultivo expresado como kg ha⁻¹ entre la lámina de riego expresado en milímetros (De *Pascale et al*, 2011)

5.10. Análisis estadístico

Los datos en todos los análisis estadísticos se realizaron mediante el programa Minitab 17. Cuando se detectaron diferencias entre los tratamientos, se corrió la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Condiciones de clima

La Figura 3, muestra las condiciones de temperatura ocurridas durante el experimento. En general las temperaturas fueron óptimas para el crecimiento y desarrollo del cultivo (Criddle *et al.*, 1997).

Las temperaturas máximas se mantuvieron en el orden de los 14 a los 30 °C, mientras que las mínimas fueron de 0 a 12 °C, con una media de 16 °C. Estas condiciones de temperatura son muy comunes en el valle de Mexicali y han sido prevaleciente por los últimos cuarenta años (Ruiz-Corral *et al.*, 2006).

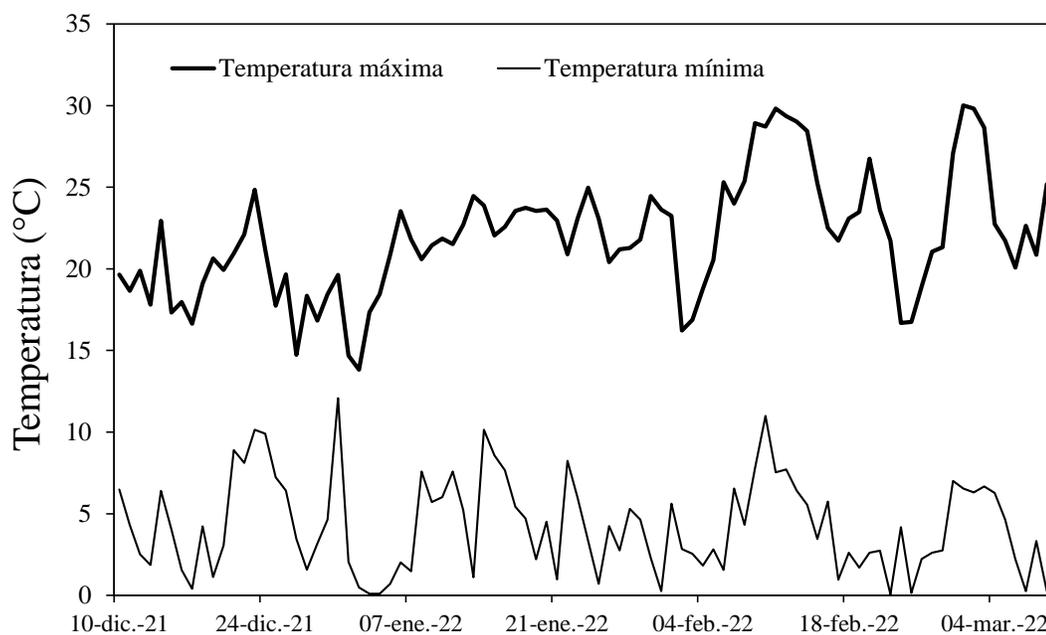


Figura 3. Evolución de las temperaturas máximas y mínimas en el cultivo de repollo (Mexicali, B.C. México).

6.3. Nitratos y Potasio en EC

Las concentraciones de NO_3 en el EC de la nervadura central fueron las únicas que variaron por efecto del tipo de acolchado (Cuadro 1). A los 55 ddt, la mayor concentración de NO_3 se encontró en el suelo acolchado plástico negro, mientras que las menores fueron en el control. A los 80 ddt, los suelos con acolchado plástico fueron mayores que en los tratamientos con paja de trigo y el control.

Para el caso de la concentración de K en EC, no hubo cambios significativos entre los tratamientos ni entre las fechas de muestreo. Las concentraciones de K en EC de la nervadura central estuvieron en el orden de los 2250 a 3675 mg L^{-1} .

Al respecto Llanderal et al., (2020) refieren que factores como la evapotranspiración del cultivo, el déficit de presión de vapor y el índice de área foliar, repercuten ampliamente en las concentraciones de NO_3 y K en los cultivos. Estos factores son importantes de considerar, debido a que los cultivos presentan diferente desarrollo y crecimiento debido a la utilización de diferentes tipos de acolchado (Kader et al., 2017) (Tarara, 2000).

Al respecto, Amare y Desta (2021) mencionan que las hortalizas cultivadas durante el invierno con suelo acolchado negro, presentan un mayor crecimiento aquellas cultivadas con otro tipo de acolchados lo que en consecuencia modifica los parámetros anteriormente señalados.

Por otro lado, investigaciones recientes en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) demuestran que la presencia de nitratos en suelo así como la absorción de nitrógeno por las plantas crecidas en suelos con acolchado plástico es mayor que en plantas crecidas en suelos sin acolchar (Wang et al., 2018a). Por ejemplo, en

suelos en suelos acolchados con plástico la concentración de nitratos en el perfil de los 20 cm se incrementa en alrededor de 30% (Ma *et al.*, 2018b) lo que en consecuencia, hace que estas plantas incrementen la absorción y distribución de nitratos en sus tejidos (Wang *et al.*, 2018a).

Cuadro 1. Concentración de nitratos (NO₃) y potasio (K) en el extracto celular de la nervadura central del cultivo de repollo por efecto de diferentes tipos de acolchados.

Tratamiento	55 ddt		80 ddt		90 ddt	
	NO ₃	K	NO ₃	K	NO ₃	K
mg L ⁻¹						
Plástico negro	6875 (±861) a [†]	2975 (±206)	6250 (±378) a	2775 (±95)	6825 (±925)	3675 (±262)
Plástico blanco	5500 (±326) bc	2900 (±115)	6975 (±596) a	2800 (±182)	6000 (±476)	3325 (±250)
Paja de trigo	5900 (±365) ab	3100 (±81)	5325 (±419) b	2575 (±125)	6150 (±675)	3350 (±238)
Control	4775 (±298) c	3000 (±115)	4275 (±309) c	2550 (±173)	6925 (±457)	3300 (±270)
Significancia	0.001	0.280	< 0.001	0.068	0.168	0.184

[†]: Diferentes letras dentro de la misma columna significan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

6.4. Temperatura de la planta

El conocimiento de la temperatura foliar es una forma indirecta de conocer el estado hídrico de la planta con respecto a la humedad del suelo. Lo anterior en teoría significa que, si una planta al medio día, tiene una temperatura foliar cercana a la temperatura ambiental es una planta que sufre estrés por falta de riego (Katimbo *et al.*, 2022).

En este estudio, la temperatura de las plantas estuvo en el orden de los 17.9, 14.6, 13.5 y 11.6 °C, para los acolchados de plástico color negro y blanco, paja de

trigo, y suelo desnudo respectivamente. Así mismo, la temperatura media ambiental estuvo en el orden de los 20.3 °C (Figura 4).

Si bien, la temperatura de las plantas acolchadas con plástico negro estuvo cercana de la temperatura ambiental, esta no se considera perjudicial para el cultivo, ya que se encuentra dentro de las temperaturas óptimas para el desarrollo del cultivo (5.0 a 32 °C) ([Ji *et al.*, 2017] [Warland *et al.*, 2006]).

Por el contrario, considerando los valores de 17.9 °C, el crecimiento de las plantas con acolchado plástico negro presentaron una tasa de crecimiento superior a las del resto de los tratamientos. Paranhos *et al.* (2016) indican que el incremento de la temperatura ambiental y de la radiación solar recibida por las plantas de repollo, influye grandemente sobre su crecimiento.

Por otro lado, la diferencia en el grado de hidratación de las plantas entre los tratamientos podría ser explicado por los diferentes ambientes que proveyó cada tratamiento en el desarrollo de la raíz de las plantas. Lo anterior debido a que el desarrollo radicular de estas, se encuentra condicionado al ambiente en el cual crecen (Amare y Desta, 2021).

Estudios demuestran que las plantas cultivadas en otoño sobre suelo desnudo y sobre suelos con acolchado plástico, presentan diferente fluctuación de temperaturas mínimas y máximas en el suelo durante el día (Díaz-Pérez, 2009), lo que trae como efecto que el desarrollo y crecimiento radicular pueda ser diferente entre las plantas (Luo *et al.*, 2020). De tal manera que dependiendo del desarrollo radicular, se tiene efecto en el grado de hidratación de las plantas (Comas *et al.*, 2013).

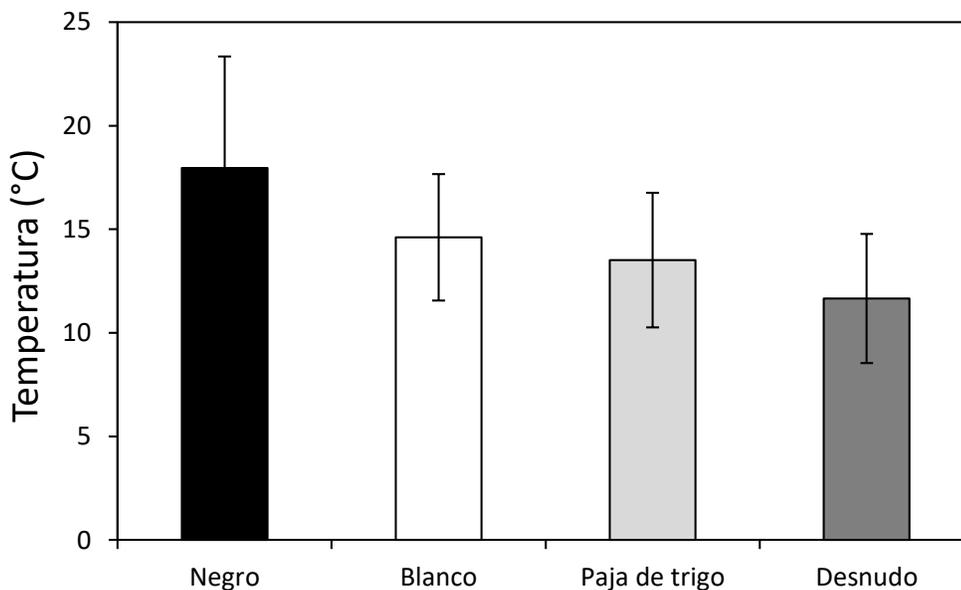


Figura 4. Temperatura foliar del cultivo de repollo por el efecto de diferentes tipos de acolchados.

6.5. Rendimiento

El rendimiento en el cultivo de repollo fue afectado por el acolchado de las plantas (Cuadro 3). De manera general las plantas cultivadas con acolchado plástico blanco tuvieron el mayor rendimiento de biomasa fresca total, del repollo (cabeza), de las hojas y de peso individual de repollo que el tratamiento paja de trigo.

El mayor rendimiento de repollo (cabeza) estuvo en el orden de las 51.21 a las 45.82 toneladas ha^{-1} , mientras que el menor fue de 44.53 toneladas ha^{-1} . Estos rendimientos son mayores a los publicados en el Atlas Agroalimentario 2020 (Atlas-Agroalimentario-2020, 2020) el cual indica que para la región del Valle de Mexicali el rendimiento es de 33.00 toneladas ha^{-1} .

Otros cultivos en los que se utiliza el acolchado plástico, presentan la misma tendencia al reportar el rendimiento. En papa (*Solanum tuberosum*) y pepino (*Cucumis sativus*) el color de acolchado incrementa la temperatura en el suelo con

relación al suelo desnudo, sobre todo al inicio de la estación de crecimiento del cultivo (Ibarra-Jiménez *et al.*, 2011) (López-Tolentino *et al.*, 2017).

Por otra parte, en referencia a los cultivos acolchados con paja de trigo, los reportes indican que algunas veces estos pueden rendir menos que aquellos cultivados en suelos sin acolchado, sobre todo aquellos cultivados en invierno. Lo anterior es debido a que la paja sobre el suelo impide su calentamiento manteniéndolo fresco por mayor tiempo (Kosterna, 2014).

Cuadro 2. Rendimiento de biomasa fresca, peso del repollo, peso de las hojas e índice de cosecha en el cultivo de repollo por efecto de diferentes tipos de acolchados.

Tratamiento	Rendimiento total	Repollo	Hojas	Índice de cosecha	Peso por repollo
	ton ha ⁻¹				kg
Plástico negro	69.91 (±4.74) bc [†]	45.82 (±2.24) ab	24.13 (±2.59) bc	0.65 (±0.05)	1.432 (±0.70) ab
Plástico blanco	76.52 (±4.49) a	51.21 (±2.38) a	25.32 (±2.82) a	0.66 (±0.05)	1.600 (±0.74) a
Paja de trigo	65.41 (±12.59) c	44.53 (±10.67) b	20.81 (±3.97) c	0.68 (±0.07)	1.390 (±0.64) b
Control	67.23 (±11.07) c	45.22 (±10.69) ab	22.01 (±3.40) bc	0.67 (±0.07)	1.414 (±0.70) ab
Significancia	< 0.001	0.035	0.018	0.319	0.034

[†]: Diferentes letras dentro de la misma columna significan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

6.6. Eficiencia en el uso del agua

Por la importancia que tiene el agua de riego en el rendimiento de los cultivos, recientemente se ha propuesto considerar la bioproductividad de los mismos por unidad de agua aplicada y no por superficie de siembra cosechada (De Pascale *et al.*, 2011).

Lo anterior implica conocer el balance de agua en el suelo, el tipo de acolchado que se utilice (orgánico o inorgánico), el color, la biodegradabilidad, la densidad de población del cultivo en cuestión y la medición del agua aplicada al suelo durante la estación de crecimiento del cultivo (Biswas *et al.*, 2022) (Kader *et al.*, 2017) (Tarara, 2000).

En este estudio, el tratamiento con acolchado plástico negro fue en que recibió la menor lámina de riego, seguido por el tratamiento con acolchado de paja de trigo, el acolchado plástico blanco y finalmente el suelo desnudo (Cuadro 4). La mayor eficiencia en el uso del agua de riego (EUAR) para la variable de rendimiento total fue para los dos tratamientos con acolchado de plástico.

Esto significó que, aunque el rendimiento total fue mayor con el acolchado plástico blanco (Cuadro 3), también se requirió de una mayor cantidad de agua para producirlo. En promedio se produjeron 288.2 kg ha⁻¹ de biomasa de planta completa por cada mm de lámina de riego aplicada.

Para el caso de la EUAR para la producción de biomasa de repollo (cabeza) y la biomasa fresca de las hojas, acolchar o no el suelo produjo grandes diferencias. En el suelo con acolchado plástico negro, se produjeron 195.7 kg ha⁻¹ de repollos por cada mm de lámina de agua de riego mientras que, en el suelo desnudo solo se produjeron 134.2 kg ha⁻¹.

Lo anterior significa un incremento en la EUAR de un 45.8%. Por otro lado, para el caso de las hojas, los resultados mostraron que acolchar el suelo con plástico (negro o blanco), se produjeron un promedio de 97.5 kg ha⁻¹ de hojas de la planta de repollo por cada mm de agua aplicada mientras que, para el suelo

desnudo, solo se obtuvieron 65.3 kg ha⁻¹. Un incremento del 49% de incremento en el UEAR.

A diferencia de otros cultivos crucíferas, el órgano de interés en repollo está compuesto por hojas (cabeza). Las hojas, son el principal órgano por el cual sucede la transpiración y fijación de CO₂, estudios indican que se requieren hasta 400 moléculas de agua transpiradas por cada molécula fijada de CO₂ (Blum, 2005).

En este sentido, la utilización de los acolchados en la producción de repollo reduce los requerimientos de agua e incrementa el UEAR, lo que beneficia grandemente este cultivo. Como un ejemplo de esto, Biswas et al., (2022) evaluó el acolchar un suelo con paja de arroz y no acolcharlo y encontraron un incremento en la EUAR de un 30%.

Cuadro 3. Eficiencia en el uso del agua en el cultivo de repollo por efecto de diferentes tipos de acolchados.

Tratamiento	Lámina de riego	EUAR [‡] Rendimiento total	EUAR repollo	EUAR hojas
	(mm)			
Plástico negro	234	298.9 (±62.5) a [†]	195.7 (±15.3) a	103.1 (±24.1) a
Plástico blanco	276	277.5 (±59.6) a	185.6 (±16.4) ab	92.0 (±19.2) a
Paja de trigo	271	241.6 (±48.3) b	164.5 (±21.7) b	77.0 (±21.9) ab
Control	337	199.6 (±41.4) c	134.2 (±18.1) c	65.3 (±18.4) b
Significancia		< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

†: Diferentes letras dentro de la misma columna significan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

‡: Eficiencia en el uso del agua de riego.

VII. CONCLUSIONES

La eficiencia en el uso del agua resultó mayor en los tratamientos acolchado con plástico independientemente del color utilizado, mientras que resultó menor en el suelo denudo.

Generalmente el suelo con acolchado plástico negro, resultó con la mayor concentración de NO_3 en el extracto celular de la nervadura central del repollo.

El mayor rendimiento comercial lo obtuvo el suelo con acolchado plástico blanco y el menor fue con el suelo acolchado con paja de trigo.

El peso de repollo (cabeza) resultó mayor en el tratamiento con acolchado plástico blanco.

Considerando la eficiencia en el uso del agua de riego y el rendimiento comercial, se recomienda el uso del acolchado plástico blanco.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amare, G. and Desta, B. 2021. Coloured plastic mulches: impact on soil properties and crop productivity. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 8, 4. <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00201-8>
- Atlas-Agroalimentario-2020. 2020. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Edición 2020. <https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2020/11/Atlas-Agroalimentario-2020.pdf> [Consultado 20 abril 2022].
- Biswas, T.; Bandyopadhyay, P. K.; Nandi, R.; Mukherjee, S.; Kundu, A.; Reddy, P.; Mandal, B. and Kumar, P. 2022. Impact of mulching and nutrients on soil water balance and actual evapotranspiration of irrigated winter cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata L.). *Agric. Water Manag.* 263, 107456. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107456>
- Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential— are they compatible, dissonant, or mutually exclusive?. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56, 1159-1169. <https://doi.org/10.1071/AR05069>
- Comas, L.; Becker, S.; Cruz, V. M.; Byrne, P. F. and Dierig, D. A. 2013. Root traits contributing to plant productivity under drought. *Front. Plant Sci.* 4.

- Criddle, R. S.; Smith, B. N. and Hansen, L. D. 1997. A respiration-based description of plant growth rate responses to temperature. *Planta* 201, 441–445. <https://doi.org/10.1007/s004250050087>
- De Pascale, S.; Dalla Costa, L.; Vallone, S.; Barbieri, G. and Maggio, A. 2011. Increasing water use efficiency in vegetable crop production: from plant to irrigation systems efficiency. *HortTechnology* 21, 301–308. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.21.3.301>
- Díaz-Pérez, J.C. 2009. Root zone temperature, plant growth and yield of broccoli [*Brassica oleracea* (Plenck) var. *italica*] as affected by plastic film mulches. *Sci. Hortic.* 123, 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.08.014>
- Erdem, Y.; Arin, L.; Erdem, T.; Polat, S.; Deveci, M.; Okursoy, H. and Gltař, H.T. 2010. Crop water stress index for assessing irrigation scheduling of drip irrigated broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). *Agric. Water Manag.* 98, 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.08.013>
- García, E. 1970. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Libros. Num. 6.
- Ibarra-Jiménez, L.; Lira-Saldivar, R. H.; Valdez-Aguilar, L. A. and Lozano-Del Río, J. 2011. Colored plastic mulches affect soil temperature and tuber production of potato. *Acta Agric. Scand. Sect. B — Soil Plant Sci.* 61, 365–371. <https://doi.org/10.1080/09064710.2010.495724>

- Ji, R.; Min, J.; Wang, Y.; Cheng, H.; Zhang, H. and Shi, W. 2017. In-season yield prediction of cabbage with a hand-held active canopy sensor. *Sensors (Basel, Switzerland)* 17(10), 2287. <https://doi.org/10.3390/s17102287>
- Kader, M. A.; Senge, M., Mojid, M. A. and Ito, K. 2017. Recent advances in mulching materials and methods for modifying soil environment. *Soil Tillage Res.* 168, 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.01.001>
- Katimbo, A.; Rudnick, D. R.; DeJonge, K. C.; Lo, T. H.; Qiao, X.; Franz, T. E.; Nakabuye, H. N. and Duan, J. 2022. Crop water stress index computation approaches and their sensitivity to soil water dynamics. *Agric. Water Manag.* 266, 107575. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107575>
- Kosterna, E. 2014. The yield and quality of broccoli grown under flat covers with soil mulching. *Plant Soil Environ.* 60, 228–233. <https://doi.org/10.17221/168/2014-PSE>
- Llanderal, A.; García-Caparrós, P.; Pérez-Alonso, J.; Contreras, J. I.; Segura, M. L.; Reca, J. and Lao, M. T. 2020. *Agronomy*, 10, 188. <https://doi:10.3390/agronomy10020188>
- Li, S. X.; Wang, Z. H.; Li, S. Q.; Gao, Y. J.; Tian, and X. H. 2013. Effect of plastic sheet mulch, wheat straw mulch, and maize growth on water loss by evaporation in dryland areas of China. *Agric. Water Manag.* 116, 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.10.004>

- López-Tolentino, G.; Ibarra-Jiménez, L.; Méndez-Prieto, A.; Lozano-del Río, A. J.; Lira-Saldivar, R. H.; Valenzuela-Soto, J. H.; Lozano-Cavazos, C. J. and Torres-Oliver, V. 2017. Photosynthesis, growth, and fruit yield of cucumber in response to oxo-degradable plastic mulches. *Acta Agric. Scand. Sect. B — Soil Plant Sci.* 67, 77–84. <https://doi.org/10.1080/09064710.2016.1224376>
- Luo, H.; Xu, H.; Chu, C.; He, F. and Fang, S. 2020. High temperature can change root system architecture and intensify root interactions of plant seedlings. *Front. Plant Sci.* 11.
- Ma, D.; Chen, L.; Qu, H.; Wang, Y.; Misselbrook, T. and Jiang, R. 2018. Impacts of plastic film mulching on crop yields, soil water, nitrate, and organic carbon in Northwestern China: A meta-analysis. *Agric. Water Manag.* 202, 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.001>
- Mahmood, A., Zahid, M. I., Khaliq, A., Hussain, S., Ata, Cheema, Z., Naeem, M., Daur, I., Athar, H. H. and Alghabari, F. 2015. Crop residues mulch as organic weed management strategy in maize. *Clean Soil and Water* 43, 1-8.
- Marble, S. C. 2015. Herbicide and mulch interactions: a review of the literature and implications for the landscape maintenance industry. *Weed Technology* 29: 341-349.
- Mulumba, L. N. and Lal, R. 2008. Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil Tillage Res.* 98, 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.10.011>

NOM-021-RENAT-2000. Norma Oficial Mexicana 021. Diario Oficial.

<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>

Paranhos, L. G.; Barret, C. E.; Zotarelli, L.; Darnell, R.; Migliaccio, K. and Borisova, T. 2016. Planting date and in-row plant spacing effects on growth and yield of cabbage under plastic mulch. *Scientia Horticulturae*, 202, 49-56.

Robinson, J. 2010. Producción de brasicáceas en México. *Hortalizas*.
<https://www.hortalizas.com/cultivos/coles-de-hojas/produccion-de-brasicaceas-en-mexico/> (Consultado 15 abril 2022).

Ruiz-Corral, J. A.; Díaz-Padilla, G.; Guzmán-Ruiz, S. D.; Medina-García, G. y Silva-Serna, M. M. 2006. Estadísticas Climatológicas Básicas del Estado de Baja California (Período 1961-2003). Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
<http://www.simarbc.gob.mx/descargas/estadclimatologica-inifap.pdf>
(Consultado 15 marzo 2021).

Stobdan, T. 2015. Plasticulture in cold arid horticulture. *DRDO Science Spectrum* 155-159. Consultado en junio del 2022.
[https://www.researchgate.net/publication/283008295_Plasticulture_in_cold_arid_horticulture].

Tarara, J. 2000. Microclimate Modification with Plastic Mulch. *HortScience* 35.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.35.2.169>

- Wang, X.; Wang, N.; Xing, Y. and Ben El Caid, M. 2018a. Synergetic effects of plastic mulching and nitrogen application rates on grain yield, nitrogen uptake and translocation of maize planted in the Loess Plateau of China. *Sci. Rep.* 8, 14319. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32749-9>
- Wang, X.; Wang, N.; Xing, Y.; Yun, J. and Zhang, H. 2018b. Effects of plastic mulching and basal nitrogen application depth on nitrogen use efficiency and yield in maize. *Front. Plant Sci.* 9, 1446. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01446>
- Warland, J.; McKeown, A. W. and McDonald M. R. 2006. Impact of high temperatures on Brassicaceae crops in southern Ontario. *Canadian Journal of Plant Science* 86, 1209-1215.