



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DEL
BERRO (*Nasturtium officinale* R. Br.) Y
RESPUESTA A DIFERENTES SOLUCIONES
NUTRITIVAS EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN
CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL

P R E S E N T A:

MIGUEL FELIPE MEDELLIN MUÑOZ

CODIRECTORES DE TESIS:

Dr. Oscar Gabriel Villegas Torres

Dr. Hugo Albeiro Saldarriaga Noreña



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

Cuernavaca, Morelos, noviembre de 2021.

**CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DEL BERRO (*Nasturtium officinale* R. Br.) Y
RESPUESTA A DIFERENTES SOLUCIONES NUTRITIVAS EN UN SISTEMA
HIDROPÓNICO**

Tesis realizada por **Miguel Felipe Medellín Muñoz** bajo la codirección y comité
revisor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para
obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL

COMITÉ REVISOR

Codirector:

Dr. Oscar Gabriel Villegas Torres

Codirector:

Dr. Hugo Albeiro Saldarriaga Noreña

Revisor:

Dra. María Andrade Rodríguez

Revisor:

Dr. Héctor Sotelo Nava

Revisor:

Dr. Porfirio Juárez López

Revisor:

Dr. Edgar Martínez Fernández

Revisor:

Dr. Alexandre Toshirrico Cardoso Taketa

Revisor:

Dr. Francisco Perdomo Roldán

Cuernavaca Morelos, noviembre de 2021

DEDICATORIA

A mi amada esposita Gaby por dar tanto de ti, por la familia tan bonita que hemos formado, te amo.

A mis dos amorcitos mi Reginita y mi Santi que hacen del día a día algo único e irrepetible.

A mis padres y suegros porque nos enseñan con su amor y cariño el valor de la familia.

A mi hermanita Lau y mi cuñada Eli, que siempre ven por mis hijos, gracias.

A mis sobrinitos (casi adolescentes) Saúl y Carlitos, mis hijos los amo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para la realización de esta investigación.

Al Doctor Oscar Gabriel Villegas Torres y Doctor Hugo Albeiro Saldarriaga Noreña por permitirme formar parte de su equipo de trabajo, por la paciencia, los aportes y consejos para el desarrollo de este trabajo.

A los miembros de mi comité tutorial

Dra. María Andrade Rodríguez

Dr. Héctor Sotelo Nava

Dr. Porfirio Juárez López

Dr. Edgar Martínez Fernández

Dr. Alexandre Toshirrico Cardoso Taketa

Dr. Francisco Perdomo Roldán

Por compartir su experiencia y por todas las observaciones y sugerencias para la culminación de este trabajo.

A la facultad de Ciencias Agropecuarias, a los amigos, profesores, técnicos de laboratorio y administrativos, gracias.

ÍNDICE

	Pág.
Índice de cuadros.	IV
Índice de figuras.	VI
Resumen general	1
General summary.	2
Introducción general.	3
Objetivos.	4
Hipótesis.	4
CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES DEL BERRO (<i>Nasturtium officinale</i> R. Br.), Y ALTERNATIVAS PARA SU PRODUCCIÓN.	5
1.1 Origen, Clasificación Taxonómica y descripción botánica del berro.	5
1.2 Aporte nutrimental, consumo y usos del berro.	6
1.3 Metabolitos secundarios en el berro.	7
1.4 Método de producción de berro.	10
1.5 Soluciones nutritivas.	14
1.6 Conclusiones.	19
1.7 Literatura citada.	20
CAPÍTULO 2. PRODUCCIÓN DE BERRO (<i>Nasturtium officinale</i> R. Br.) EN CUAUTLA, MORELOS, MÉXICO.	26
2.1 Resumen.	26
2.2 Summary.	27
2.3 Introducción.	28
2.4 Materiales y métodos.	30
2.5 Resultados y discusión.	32
2.5.1 Características de los productores.	32
2.5.2 Manejo agronómico del berro.	33
2.5.3 Comercialización y consumo.	36
2.5.4 Costos de producción del berro.	36
2.6 Conclusiones.	39

2.7	Literatura citada.	40
-----	-------------------------	----

CAPÍTULO 3. COMPOSICIÓN MINERAL DEL BERRO (*Nasturtium officinale* R. Br.) Y AGUA COLECTADOS EN CUATRO SITIOS DE PRODUCCIÓN DE CUAUTLA, MORELOS, MEXICO. 43

3.1	Resumen.	43
3.2	Summary.	44
3.3	Introducción.	45
3.4	Materiales y métodos.	47
3.4.1	Ubicación y método de muestreo.	47
3.4.2	Procesamiento de las muestras de agua.	48
3.4.3	Procesamiento de las plantas de berro.	49
3.4.4	Análisis de las muestras.	50
3.5	Resultados y discusión.	51
3.5.1	Variables medidas en campo, temperatura, conductividad eléctrica y pH	51
3.5.2	Análisis de muestras de agua	53
3.5.3	Análisis elemental de hojas y tallos de berro	59
3.6	Conclusiones.	67
3.7	Literatura citada.	68

CAPÍTULO 4. EFECTO DEL pH Y LA CONCENTRACIÓN DE HIERRO EN LA PRODUCCIÓN HIDROPONICA DE BERRO (*Nasturtium officinale* R. Br.). 72

4.1	Resumen.	72
4.2	Summary.	73
4.3	Introducción.	74
4.4	Materiales y métodos.	76
4.4.1	Ubicación del experimento.	76
4.4.2	Material vegetal.	76
4.4.3	Manejo del experimento.	76
4.4.4	Variables evaluadas y análisis estadístico.	77

4.5	Resultados y discusión.....	78
4.6	Conclusiones.....	84
4.7	Literatura citada.....	85

CAPÍTULO 5 EFECTO DE LA RELACIÓN NITRATO-CALCIO EN LA PRODUCCIÓN DE BERRO (*Nasturtium officinale* R. Br.) HIDROPONICO. 88

5.1	Resumen.....	88
5.2	Summary.....	89
5.3	Introducción.....	90
5.4	Materiales y métodos.....	92
5.4.1	Ubicación del experimento.....	92
5.4.2	Material vegetal.....	92
5.4.3	Manejo del experimento.....	92
5.4.4	Variables evaluadas y análisis estadístico.....	93
5.5	Resultados y discusión.....	95
5.6	Conclusiones.....	102
5.7	Literatura citada.....	103
	Conclusiones generales.....	106
	Anexos.....	107

ÍNDICE DE CUADROS

		Pág.
CAPÍTULO 2		
Cuadro 1	Sitios de entrevistas en los ejidos Cuautla, Cuautlixco y Santa Inés.	31
CAPÍTULO 3		
Cuadro 1	Localización de muestreos de agua realizados en la zona berrera del municipio de Cuautla Morelos y agua de riego de la UAEM.	47
Cuadro 2	Porcentaje de elementos encontrados en agua de cuatro sitios de producción de berro en Cuautla y agua de riego de la UAEM.	58
Cuadro 3	Porcentaje de elementos encontrados en hojas de berro de cuatro sitios de producción en Cuautla y berro producido en la UAEM.	63
Cuadro 4	Porcentaje de elementos encontrados en hojas de berro de cuatro sitios de producción en Cuautla y berro producido en la UAEM (Continuación).	64
Cuadro 5	Porcentaje de elementos encontrados en tallos de berro de cuatro sitios de producción en Cuautla y berro producido en la UAEM.	65
Cuadro 6	Porcentaje de elementos encontrados en tallos de berro de cuatro sitios de producción en Cuautla y berro producido en la UAEM (Continuación).	66
CAPÍTULO 4		
Cuadro 1	Contenido relativo de clorofila, número de tallos, altura de tallo, diámetro de tallo y número de hojas en plantas de berro por efecto de las soluciones nutritivas con tres concentraciones de hierro y cinco valores de pH.	80

Cuadro 2	Biomasa fresca y seca de raíz, tallo y hojas de plantas de berro, por efecto de las soluciones nutritivas con tres concentraciones de hierro y cinco valores de pH.	82
Cuadro 3	Volumen de raíz y área foliar de plantas de berro por efecto de las soluciones nutritivas con tres concentraciones de hierro y cinco valores de pH.	83

CAPÍTULO 5

Cuadro 1	Tratamientos generados por la combinación de las concentraciones de nitrato y calcio en la solución nutritiva para la producción de berro (<i>Nasturtium officinale</i>).	93
Cuadro 2.	Contenido relativo de clorofila, número de tallos, altura de tallos, diámetro de tallos y número de hojas de plantas de berro por efecto de las soluciones nutritivas con diferente concentración de nitrógeno (N-NO ₃ ⁻) y calcio (Ca ²⁺).	96
Cuadro 3	Biomasa fresca y seca de raíz, tallo y hojas, área foliar, volumen de raíz y firmeza de tallos de plantas de berro por efecto de las soluciones nutritivas con diferente concentración de nitrógeno (N-NO ₃ ⁻) y calcio (Ca ²⁺).	100

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
CAPÍTULO 1	
Figura 1. Partes de la planta de berro A) Tallos huecos, B) Raíces entre los nudos, C) Hojas pinnadas y D) Flores.	6
Figura 2. Estructura general de los glucosinolatos.	9
CAPÍTULO 3	
Figura 1. Colocación de muestras de agua en cajas petri con papel filtro.	48
Figura 2. Procesamiento de plantas de berro para análisis nutrimental, A) Muestra en Baño maría, B) Secado de la muestra, C) Macerado y D) Fijación de fibras en el porta muestras.	49
Figura 3. Grafica de temperatura del agua de riego de cuatro sitios de siembra de berro.	51
Figura 4. Grafica de conductividad eléctrica del agua de riego de cuatro sitios de siembra de berro.	52
Figura 5. Grafica de pH del agua de riego de cuatro sitios de siembra de berro.	53

RESUMEN GENERAL

El berro (*Nasturtium officinale* R. Br.) es una planta perenne de rápido crecimiento que pertenece a la familia Brassicaceae. En México es una especie exótica establecida en gran parte del país, se colecta o cultiva a orillas de ríos y arroyos. En Morelos es de importancia en el municipio de Cuautla, donde se produce a orillas del río Cuautla y manantiales cercanos, sin embargo, conflictos por el uso del agua y la contaminación son factores que influyen en la producción y calidad de esta hortaliza, por lo que el objetivo de este trabajo fue generar información sobre el sistema de cultivo y calidad nutrimental del berro producido en la región de Cuautla, Morelos y realizar estudios de nutrición de esta especie en un sistema hidropónico. En la investigación de campo se entrevistó a productores de berro del municipio de Cuautla para obtener información sobre el manejo agronómico, se realizaron muestreos de agua y plantas de berro en cuatro sitios de producción, para conocer la composición mineral del agua y berro e iniciar con la producción de berro en sistema hidropónico. Para el estudio en sistema hidropónico se establecieron dos experimentos, en el primero se evaluó el desarrollo de plantas de berro en respuesta al pH y la concentración de hierro y en el segundo se evaluó la respuesta del berro a la relación de N-NO_3^- y Ca^{2+} en la solución nutritiva. El estudio de campo permitió obtener información sobre la producción, comercialización y beneficios económicos, en cuanto a la composición elemental en el agua se encontraron los elementos O, C, K, Cl, Ca, S, Mg, Cu, Na, Pb, Si, Cd y Zn en distintas concentraciones. En el tejido vegetal se encontraron los elementos O, C, N, Br, K, Cl, Ca, S, Mg, P, Cu, Na, Pb, Si, Cd y Fe en hojas y tallos. Los experimentos en hidroponía mostraron que el hierro influye de forma positiva a mayor concentración (7 mg L^{-1}) y que los niveles de pH con mejor efecto fueron de 5.5 a 6.5, en cuanto a la relación N-NO_3^- y Ca^{2+} se observó que el N-NO_3^- es aprovechado de forma más eficiente al utilizar mayores concentraciones de Ca^{2+} (9 y $11 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$). La información generada durante toda esta investigación establece las bases para la producción de berro en sistema hidropónico, bajo cubierta plástica en la ciudad de Cuernavaca Morelos, México.

Palabras clave: berro, río Cuautla, hierro, sistema hidropónico.

GENERAL SUMMARY

Watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.) is a fast-growing perennial plant that belongs to the Brassicaceae family, in Mexico it is an exotic species established in much of the country, it is collected or cultivated on the banks of rivers and streams. In Morelos it is of importance in the municipality of Cuautla, where it is produced on the banks of the Cuautla River and nearby springs, however conflicts over the use of water and pollution are factors that influence the production and quality of this vegetable. That is why the aim was to generate information on the cultivation system and nutritional quality of the watercress produced in the Cuautla, Morelos region and to carry out nutrition studies of this species in a hydroponic system. In the field research, watercress producers in the municipality of Cuautla were interviewed to obtain information on agronomic management, water and watercress plants were sampled in four production sites, to know the mineral composition of water and watercress and start with the production of watercress in a hydroponic system. For the study in a hydroponic system, two experiments were established, in the first, the development of watercress plants in response to pH and iron concentration was evaluated and in the second, the response of watercress to the relationship of N- NO_3^- and Ca^{2+} in the nutrient solution. The field study allowed to obtain information on the production, commercialization and economic benefits, regarding the elemental composition in the water, the elements O, C, K, Cl, Ca, S, Mg, Cu, Na, Pb, Si, were found. Cd and Zn at different concentrations. In plant tissue, elements O, C, N, Br, K, Cl, Ca, S, Mg, P, Cu, Na, Pb, Si, Cd and Fe were found in leaves and stems. The experiments in hydroponics showed that iron has a positive influence at a higher concentration (7 mg L^{-1}) and that the pH levels with the best effect were 5.5 to 6.5, in terms of the N- NO_3^- and Ca^{2+} ratio, it was observed that the N- NO_3^- is used more efficiently by using higher concentrations of Ca^{2+} (9 y $11 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$). The information generated during all this research establishes the bases for the production of watercress in a hydroponic system, under plastic cover in the city of Cuernavaca Morelos, Mexico.

Key words: watercress, Cuautla river, iron, hydroponic system.

INTRODUCCIÓN GENERAL

El berro (*Nasturtium officinale*) es una planta perenne de rápido crecimiento que pertenece a la familia *Brassicaceae*, nativa del hemisferio norte, en los continentes Asia y Europa, su historia inicia con las civilizaciones Persa, Griega y Romana, quienes la utilizaban como alimento y medicina, su plasticidad y rápido crecimiento han favorecido su distribución ya que crece a orillas de arroyos, lagos y ríos alrededor del mundo.

En la actualidad es un elemento representativo de la cocina mediterránea, que se consume en ensaladas y sopas, de sabor fuerte y picante es catalogado como un alimento funcional por su aporte nutrimental y de compuestos activos, lo que ha incrementado su popularidad. El berro es rico en vitamina B9, vitamina C, vitamina K y en menor concentración vitamina A, Ca, Cu y Fe, los compuestos más encontrados en berro son flavonoles y glucosinolatos, relacionados con actividad antioxidante, antiinflamatoria, antígenotóxica, quimiopreventiva, quimioterapéutica y cardioprotectora.

En México es una especie exótica establecida en gran parte del país, presente en cuerpos de agua donde crece de forma silvestre o es cultivada para su comercialización a nivel local. El municipio de Cuautla, Morelos es un productor importante a nivel regional, con una superficie de 56 ha ubicadas en la ribera del río Cuautla y manantiales de los ejidos Cuautlixco, Cuautla y Santa Inés, la producción es poco tecnificada y se realiza en pequeños predios.

La siembra se realiza mediante esquejes, durante el desarrollo la planta solo es fertilizada (aplicaciones foliares) y protegida de plagas (aplicación de insecticidas), hasta la cosecha, la calidad del producto se asocia al grosor del tallo, tamaño y color de hojas, dejando de lado la presentación y la inocuidad del producto. Por consiguiente en la presente investigación se dan a conocer aspectos relacionados con la producción de berro en Cuautla, Morelos. Además, se muestran resultados de estudios realizados en la producción hidropónica de berro bajo cubierta plástica, analizando factores como la concentración de la nutrición, el pH y las relaciones catiónicas y como estos influyen en el rendimiento y en la calidad fisicoquímica de plantas de berro.

OBJETIVO GENERAL

Generar información sobre el sistema de cultivo y calidad nutrimental del berro producido en la región de Cuautla, Morelos, y realizar estudios de nutrición de esta especie en un sistema hidropónico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir el sistema de producción de berro en la región de Cuautla, Morelos.
2. Evaluar la composición mineral del agua y de la planta de berro producida en Cuautla, Morelos y utilizar la información generada para el establecimiento del cultivo de berro en sistema hidropónico bajo cubierta plástica.
3. Determinar las condiciones idóneas de pH y concentración de hierro para la producción de berro en hidroponía.
4. Evaluar el efecto de las interacciones de nitrato y calcio en el crecimiento de berro producido en hidroponía.

HIPÓTESIS

1. La producción de berro en la región de Cuautla se realiza con el mínimo uso de agroquímicos y labores agrícolas porque es una especie fomentada dada su rusticidad.
2. La composición mineral del agua utilizada para la producción de berro en la región de Cuautla influye en la composición nutrimental y desarrollo del berro.
3. Existe por lo menos un nivel de pH y concentración de hierro en la solución nutritiva que favorece el crecimiento vegetativo de berro producido en hidroponía.
4. Existe por lo menos una relación N-NO_3^- y Ca^{2+} en la solución nutritiva que promueve el crecimiento vegetativo de berro producido en hidroponía.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES DEL BERRO (*Nasturtium officinale*), Y ALTERNATIVAS PARA SU PRODUCCIÓN

1.1 Origen, Clasificación Taxonómica y descripción botánica del berro

El berro (*Nasturtium officinale*) es una especie cosmopolita, originaria de Europa, que se ha naturalizado en varios lugares alrededor del mundo, su reproducción por semilla y vegetativa, su habilidad para adaptarse a un gran rango de hábitats y aclimatarse a espectros amplios de luz son características que han influido en su amplia distribución (Going *et al.*, 2008). El departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 2021) lo clasifica de la siguiente forma.

REINO Plantae

SUBREINO Tracheobionta

SUPERDIVISIÓN Spermatophyta

DIVISIÓN Magnoliophyta

CLASE Magnoliopsida

SUBCLASE Dileniidae

ORDEN Capparales

FAMILIA Brassicaceae

GÉNERO *Nasturtium* R. Br.

ESPECIE *Nasturtium officinale*

El berro es una planta acuática rastrera o flotante, perenne con tallos ramificados suculentos y huecos (figura 1A), con frecuencia presenta raíces en los nudos (Figura 1B). Las hojas son pinnadas, de 5 a 15 cm de ancho con 3 a 11 folíolos ovados a orbiculares, con los bordes sub enteros, con un folíolo terminal de mayor tamaño (Figura 1C), presenta inflorescencias en racimo, con flores de pétalos blancos de 3 a 5 mm de largo (Figura 1D), las semillas se encuentran dentro de silicuas rectas, encorvadas o cilíndricas, de 1 a 2 cm de largo por 2 a 2.5 mm de diámetro, divergentes a algo ascendentes sobre pedicelos del mismo largo que las silicuas (CONABIO,

2021). En la naturaleza la planta de berro es tolerante al frío incluso a temperaturas de -15°C , es poco tolerante a la salinidad y su crecimiento óptimo se da a un pH de 7.2 (Fennell, 2006).



Figura 1. Partes de la planta de berro A) Tallos huecos, B) Raíces entre los nudos, C) Hojas pinnadas y D) Flores.

1.2 Aporte nutrimental, consumo y usos del berro

El berro tiene alto contenido nutrimental. La USDA (2021) reporta que el berro crudo es una fuente rica en calcio (Ca), fósforo (P), potasio (K) sodio (Na), hierro (Fe), magnesio (Mg) y vitamina C y en menor cantidad zinc (Zn), cobre (Cu) manganeso (Mn), selenio (Se), y las vitaminas A, B-6 y K.

El consumo de 100 gramos de berro aporta la mitad de la vitamina C y dos veces más el requerimiento de vitamina K recomendada para un adulto además aporta una décima parte del calcio recomendado para adolescentes (FAO, 2004).

En algunos países de Europa Asia y África el berro forma parte de la gastronomía y es utilizado en la medicina tradicional para tratar desórdenes del tracto respiratorio como tos, gripa, y bronquitis (Siew *et al.*, 2014, Suroowan y Mahomoodally, 2016), problemas estomacales como estreñimiento, y dispepsia (Abbasi *et al.*, 2015, Rehman *et al.*, 2015) por su contenido de vitamina C se ha utilizado para el tratamiento del escorbuto, obesidad y diabetes tipo 2 (Miraldi *et al.*, 2001, Cruz y Andrade-Cetto, 2015) gingivitis y pérdida de apetito (Menković *et al.*, 2011). Klimek-Szczykutowicz *et al.* (2018), señalan el potencial farmacológico de esta planta y su rica composición metabólica han generado investigaciones en campos de la medicina, cosmetología y la industria alimenticia.

1.3 Metabolitos secundarios en el berro

Las plantas de la familia Brassicaceae están constituidas por metabolitos secundarios de distinta naturaleza, su diversidad y efecto en la salud humana ha sido documentada ampliamente. Manchali *et al.* (2012) apuntan como componentes encontrados en plantas de la familia a compuestos azufrados como glucosinolatos, y sulfoxido S-metilcistina, flavonoides antocianinas y carotenoides pigmentos biológicamente activos, polifenoles y cumarinas con actividad antioxidante y terpenos. Raiola *et al.* (2018) describen en su revisión la presencia de ácido ascórbico y compuestos fenólicos con actividad reductiva y de neutralización de especies reactivas de oxígeno (ROS) y protección contra la oxidación de lipoproteínas de baja densidad (LDL), carotenoides con actividad extintora del oxígeno singlete y glucosinolatos con actividad inhibitoria de células cancerígenas humanas y como regulador de las enzimas de detoxificación de las fases I y II.

En otra revisión realizada por Nawaz *et al.* (2018), se describen los compuestos encontrados en hojas y flores de cinco especies de brassicas, brócoli (*Brassica oleracea*), mostaza parda (*Brassica juncea*), nabo de campo (*Brassica rapa*), nabo o

colza (*Brassica napus*) y mostaza negra (*Brassica nigra*), compuestos fenólicos, ácidos fenólicos, sulfuro-glucosidos, fenoles, polifenoles, taninos saponinas, carotenoides (zeaxantina, luteína, β -caroteno), alcaloides, fenoles, fitoesteroles, glucosinolatos, terpenoides, flavonoides, glicósidos, esteroides, antocianinas y aminas aromáticas, son de los más encontrados en estas especies, además de enzimas con actividad antioxidante: catalasa (CAT), peroxidasa (POD), superóxido dismutasa (SOD). Actividad de eliminación de radicales: capacidad atrapadora de radicales de oxígeno (ORAC), capacidad de reducción férrica del plasma (FRAP) y 2,2-difenil-1 picrilhidrazilo (DPPH), capacidad de captación de radicales ABTS, algunas de estas enzimas intervienen en la inhibición de la metilación y prevención del daño al ADN, prevención del cáncer, enfermedades cardiovasculares y diabetes.

En plantas de berro se han identificado metabolitos secundarios en distintos tejidos de la planta. En raíces y hojas se han identificado compuestos fenólicos derivados del ácido gálico, ferúlico, cumárico, *p*-cumárico, proantocinidina B1, apigenina, ácido *p*-hydroxybenzoico, sinápico, *p*-cumárico, caftárico, cafeoilámico y quercentin-3-(caffeo diglucosido)-7-ramnosa. (Zeb, 2015), compuestos fenólicos, azúcares reductores, esteroides, flavonoides y glicósidos (Faizy *et al.*, 2021).

Aires *et al.* (2013) realizaron la caracterización fitoquímica de brotes de berro, los metabolitos identificados fueron los compuestos fenólicos ácido clorogénico, quercentina-3-O rutinósido, ácido dicafeoil tartárico y isoramnetina y al glucosinolato, gluconasturina. Otra característica observada fue la capacidad antioxidante que poseen estos brotes, relacionada con el contenido de ácido cafeico, quercentina-3-O-rutinósido, ácido dicafeoil tartárico y isoramnetina.

En semillas y plantas de berro se han reportado la actividad de glucosinolatos, carotenoides (Kopsell *et al.*, 2007, Williams *et al.*, 2009), y flavonoides (Engelen-Eigles *et al.*, 2006).

Los glucosinolatos son los fitoquímicos más encontrados en las plantas de la familia Brassicaceae (Engelen-Eigles *et al.*, 2006), estos compuestos son precursores de los isotiocianatos compuestos con actividad protectora contra hongos bacterias y nematodos (Moreno *et al.*, 2006). Los glucosinolatos son hidrolizados por la enzima mirosinasa, como resultado se obtienen compuestos biológicamente activos como los

isotiocianatos, sulfuranos nitrilos y tiocianatos, estos procesos dependen de las condiciones de reacción y de la presencia de proteínas asociadas (Rincón, 2014).

La estructura general de los glucosinolatos contiene β -D-glucopiranososa unidas a través de un átomo de azufre(S) a un éster de sulfato de N-hidroximino y se distinguen entre sí por el grupo R derivado de varios aminoácidos (Figura 1). Por sus propiedades estos compuestos no son volátiles y carecen de fragancia. Los glucosinolatos pueden originarse de forma alifática derivados de la metionina, glucosinolatos indol o indólico derivados del triptófano y glucosinolatos aromáticos formados a partir de fenilalanina (Soledade *et al.*, 2015).

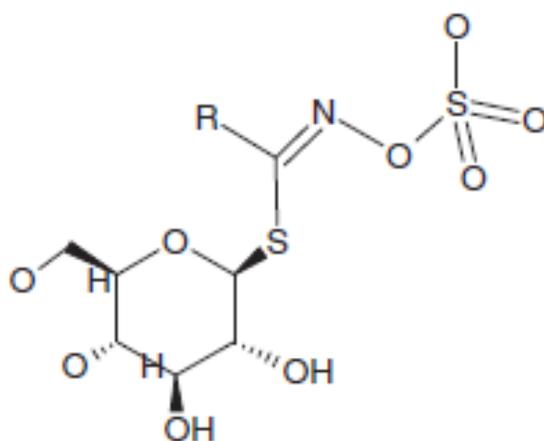


Figura 2. Estructura general de los glucosinolatos (extraído de Manchali *et al.*, 2012).

Estos compuestos se sintetizan por la planta en tres fases principales: elongación de la cadena lateral, síntesis de aglicona y modificación de la cadena lateral. La N-hidroxilación de un aminoácido precursor permitirá el alargamiento de la cadena, después mediante una descarboxilación derivado del aminoácido alargado se forma la aglicona, en este momento se introduce el grupo azufre y se forma ácido tihidroxámico, se adiciona UDP-glucosa para formar desulfoglucosinolato se adiciona el segundo grupo azufre por 3'-fosforo adenosina-5'-fosfosulfato (PAPS) finalizando en la formación del glucosinolato (Manchali *et al.*, 2012).

Los glucosinolatos son transportados a través del floema y son utilizados para la defensa contra organismos patógenos, son almacenados en la vacuola de la célula de

la planta, cuando se presenta el ataque de plagas estos reaccionan con la enzima miriosinasa formando isotiocianatos, esto mismo sucede en la flora intestinal del humano (Rincón, 2014).

Debido a la presencia de un carbono central altamente electrofílico los isotiocianatos pueden interactuar con las enzimas de las fases I y II para desintoxicar carcinógenos, la metabolización de estos carcinógenos y su excreción es el principal mecanismo para prevenir el cáncer. La inducción de enzimas de la fase II ayudan a metabolizar xenobióticos para prevenir la carcinogénesis, estas enzimas aceleran y eliminan los metabolitos xenobióticos e inhiben las enzimas de la fase I que activan los carcinógenos (Manchali *et al.*, 2012).

El potencial quimioprotectivo de extractos de berro ha sido demostrado en modelos *in vitro* (Chai *et al.*, 2015), se ha demostrado que los isotiocianatos del berro suprimen la producción de compuestos pro-inflamatorios como el óxido nítrico (NO) y las prostaglandinas (PG) que son asociadas con numerosas condiciones patológicas como la inflamación crónica y el cáncer (Rose *et al.*, 2005), se ha encontrado que un conjugado de fenetil isotiocianato inhibe la proliferación de células causantes de cáncer de próstata, este mismo conjugado puede reducir el riesgo de padecer cáncer en fumadores al bloquear el metabolismo mediado por el citocromo P450 y la activación de la nitrosamina una potente forma carcinogénica (Chiao *et al.*, 2004).

1.4 Métodos de producción de berro

El berro crece de forma natural a orillas de ríos y arroyos en agua con poca corriente (Tardío *et al.*, 2016), su rusticidad ha permitido establecer sembradíos con mínimos requerimientos de infraestructura y manejo agronómico en distintos lugares alrededor del mundo.

La forma tradicional de producción comercial de berro, utiliza camas preparadas en el suelo cerca de ríos para aprovechar la corriente.

En Reino Unido la producción de berro se realiza en grandes extensiones de tierra, las camas son construidas de 9 metros de ancho por 50 o 70 m de largo, el agua que se utiliza debe tener una mínima turbulencia, para controlar la fuerza del agua se utilizan

válvulas. Las paredes de la cama son de concreto con una altura de 37 cm, con 12 cm por debajo de la superficie, en el fondo se coloca una capa de balastre y una pequeña capa de grava, las camas son separadas por calles que permiten el manejo del cultivo. La aplicación de fertilizantes se realiza de acuerdo con las necesidades de la planta para evitar acumulación en las aguas de descarga. Se utiliza la fórmula NPK (19:14:14).

La cosecha de berro se realiza de forma mecánica, el producto final son empaques de 5, 6, 11 y 12 kg. Al terminar la cosecha la planta es recortada y nivelada para volver a crecer se pueden realizar hasta 6 cortes por año con un rendimiento de 7,500 a 10,000 kg/ha (Fennell, 2006).

En Mauritania (África) el berro forma parte de la dieta básica, la producción es para consumo local y se realiza a cielo abierto en camas de suelo o grava, el agua para la producción proviene de ríos o manantiales, la reproducción de la planta para el cultivo se realiza por medio de fragmentos de los tallos. La primera cosecha se realiza cuando la planta ha alcanzado la madurez comercial (4 semanas), se realizan cosechas posteriores al primer corte cuando la planta alcanza una altura de 20 a 25 cm por encima del nivel del agua, se ha observado que la planta de berro presenta cierta tolerancia a temperaturas bajas, y un retraso en el crecimiento con temperaturas altas, por lo que en invierno se alcanzan mayores rendimientos.

En el manejo agronómico se reconocen a los minadores de hojas, pulgones, palomilla dorso de diamante (*Plutella xylostella*) y el caracol manzana dorada (*Ponacea canaliculata*) como plagas que atacan el cultivo de berro y entre los patógenos que causan enfermedades se reconocen al virus mosaico del nabo (TuMV), fitoplasmas y al hongo *Cercospora*, para su control se utilizan distintos plaguicidas de forma individual o en mezcla (Googolee *et al.*, 2020)

El cambio de los sistemas tradicionales en agricultura protegida por sistemas de producción sin suelo es una alternativa de mejora, factores como la alta densidad de población y ciclo corto permiten un incremento en el rendimiento de hortalizas de hoja (Nicola *et al.*, 2007).

Los sistemas flotantes para producción de berro han sido estudiados con buenos resultados, Kratky (2015) describe dos métodos hidropónicos no circulantes para la producción de berro, ambos métodos son similares en infraestructura y manejo.

El método de contenedor suspendido: sobre la superficie del tanque de almacenamiento de solución nutritiva se coloca una placa con ranuras circulares a manera de tapa y en los orificios se acomodan los contenedores con plántulas de berro, las raíces quedan sumergidas en la solución nutritiva, a medida que las plántulas crecen la solución nutritiva se termina, obligando a las raíces a extenderse hacia abajo.

El método de la cubierta flotante: de forma similar al contenedor suspendido se coloca una placa con ranuras circulares sobre la solución nutritiva, en las ranuras se acomodan los contenedores con plántulas de berro, al agotarse la solución nutritiva la placa baja con el nivel de solución permitiendo un contacto constante de las raíces con el líquido.

Schuchardt *et al.* (2019) evaluaron la producción de berro por dos métodos, la producción de berro en sistema hidropónico al aire libre con dos sustratos (arena, arena/suelo mezclados) y agua y la producción en invernadero con los mismos tratamientos se utilizó la solución nutritiva Hoagland al 50 % de concentración, los resultados demostraron que se puede producir berro en invernadero durante todo el año sin que reduzca su contenido nutrimental y composición química, los autores sugieren combinar la producción de berro con la producción de peces (acuaponía), para optimizar el uso de nutrientes. Irhayyim *et al.* (2020) establecieron un experimento de acuaponía para evaluar el efecto de la densidad de corte de brotes de berro (0%, 25%, 33% y 50%) en la remoción de desechos y crecimiento de carpa común (*Cyprinus carpio*). Los resultados revelan que cuando se cortó más del 25% de brotes de berro hubo un efecto negativo en el crecimiento de los berros y en la remoción de NO_3^- y PO_4 pero esto no afectó el crecimiento de los peces, los autores sugieren una recolección quincenal de menos del 25% del cultivo de berro, para mejorar la eficiencia de remoción de nutrientes y un óptimo crecimiento de peces y plantas de berro.

Se han realizado adaptaciones para producción de berro de forma semi-intensiva y satisfacer la demanda local como lo desarrollado por Ortiz-Hernandez *et al.* (2015), la producción bajo la técnica de flujo laminar en camas de madera, las camas se elevaron

a un metro del piso y se les dio una pendiente de 2% para permitir el flujo de la solución nutritiva, otros factores que se evaluaron fue la intensidad luminosa por medio de colocación de malla sombra y la concentración de nutrientes.

Nicola *et al.* (2016) establecieron plantas piloto a escala de laboratorio para evaluar la funcionalidad del sistema de cultivo flotante en la producción de diversas especies de hortalizas de hoja (incluido el berro). El sistema de producción consistió de camas (2.5m de largo x 1.40 m de ancho y 0.15 m de profundidad) forradas con plástico doble cara (negro y blanco) y aireación del agua por medio de un compresor que inyecta el aire en la tubería colocada en el fondo de la cama. La nutrición utilizada en mmol L^{-1} fue la siguiente 6N, 2P, 6K, 2 Mg y 2.5 Ca. Este sistema se estableció en dos tipos de invernadero comercial, uno de plástico y uno de vidrio ambos equipados con sistema de calefacción y aireación controlada, cobertura con malla con un 50% de sombra, los resultados obtenidos muestran buen rendimiento y calidad de los cultivos probados.

Otros trabajos relacionados con el cultivo de berro se han enfocado en mejorar la calidad de la producción en hidroponía, mediante la desinfección de sustratos utilizando calor o microorganismos benéficos, Pignata *et al.* (2015) observaron que la aplicación de flujo de vapor al sustrato disminuyó la muerte de plantas por damping-off, influyó en el crecimiento general de las plantas e incrementó su capacidad antioxidante, además de disminuir el número de unidades formadoras de colonias de mohos, en contraste la aplicación de *Bacillus subtilis* disminuyó el contenido de clorofilas a y b, e incrementó la capacidad antioxidante, por lo que los autores sugieren el uso de *Bacillus subtilis* en situaciones de estrés abiótico.

La calidad del agua influye en la disponibilidad de nutrientes, generando un mayor gasto de energía en las plantas para poder nutrirse e hidratarse, Lira *et al.* (2018) evaluaron el efecto de agua con alta cantidad de sales (0.2, 1.2, 2.2, 3.2, 4.2 y 5.2 dS m^{-1}) en el crecimiento y composición mineral de berro producido en sistema de película nutritiva (NFT), los resultados obtenidos muestran un efecto negativo en las plantas por el uso de agua salada, reducción del área foliar menor biomasa fresca y seca, mayor contenido de P, Na y Cl.

Souza *et al.* (2020) desarrollaron un estudio similar con berro producido con agua salada, con concentraciones de 0.6, 1.6, 2.6, 3.6 y 4.6 dS m^{-1} y dos tiempos de

circulación de la solución nutritiva (10 y 15 min). El conjunto de variables medidas (altura de planta, número de hojas, área foliar, biomasa fresca y seca de brotes y raíces) muestran un efecto adverso en el desarrollo de la planta a mayor concentración de sales en la solución nutritiva, los autores sugieren como aceptable el uso de agua salada con una conductividad eléctrica igual o menor a 2.6 ds m^{-1} y que 15 min de circulación de la solución nutritiva influyen de forma positiva en la producción de berro a cualquiera de las concentraciones de agua salada utilizadas.

La producción de berro en hidroponía con agua salada puede ser una alternativa cuando no se cuenta con agua de buena calidad.

1.5 Soluciones nutritivas

El diseño de soluciones nutritivas es un factor de gran importancia en la hidroponía ya que los requerimientos nutrimentales de cada especie vegetal son distintos, la solución nutritiva es una mezcla de cationes y aniones que se encuentran en equilibrio, las características de la solución nutritiva que más influencia tienen en el desarrollo de vegetales son la relación mutua entre cationes, la relación mutua entre aniones, la concentración total de iones y el pH (Steiner, 1984).

El equilibrio en la solución nutritiva permite que todos los elementos disueltos estén disponibles para la planta, modificar el valor del pH de una solución nutritiva afecta la composición elemental, la distribución y la disponibilidad de los elementos, ya que cada elemento reacciona de distinta forma a los cambios en el pH de la solución (Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012). Varios autores concluyen que los valores de pH más adecuados para un mejor aprovechamiento de los elementos en la solución se encuentran entre 5.0 y 6.5 (Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012, Juárez *et al.*, 2006, Lara, 1999).

Fennell (2006) señala que el pH óptimo para el buen desarrollo del berro es de 7.2, sin embargo, algunos iones no se encuentran disponibles a ese pH.

El NH_3 forma un complejo con H^+ a pH entre 2 y 7, formando NH_4^+ , cuando el pH aumenta por encima de 7 la concentración de NH_4^+ disminuye, incrementando la concentración de NH_3 . A un pH superior a 8.3 los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} precipitan formando

carbonatos por la presencia de HCO_3^- en el agua utilizada para preparar la solución El hierro, cobre, zinc, boro y manganeso no están disponibles a un pH mayor a 6.5 (Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012).

Entre los elementos necesarios para el desarrollo de la planta se encuentra el nitrógeno (N), el elemento más requerido por la planta después del carbono, alrededor del 1-5 % de la materia seca total de la planta lo constituye el N, este elemento forma parte integral de las proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, coenzimas fitohormonas y metabolitos secundarios, por lo que su disponibilidad es un factor decisivo para el crecimiento de la planta. Las principales fuentes de N que pueden ser absorbidas por las raíces de plantas superiores son el nitrato (NO_3^-) y el amonio (NH_4^+) El nitrógeno una vez asimilado por la planta puede usarse para la síntesis de amidas, aminoácidos ácidos nucleicos y otros compuestos (Marschner, 2012).

El calcio (Ca) es un elemento esencial en el crecimiento y desarrollo de las plantas, el Ca es un catión divalente relativamente grande, a diferencia de otros elementos, este se concentra en las paredes celulares (apoplasto) y de forma intercambiable en la membrana plasmática. Las funciones que cumple este elemento pueden ser estructural o como componente regulador de las macromoléculas se relacionan con su capacidad de coordinación (Marschner, 2012).

Otra función del Ca es actuar como un segundo mensajero, interviniendo en diversas funciones celulares entre las que se incluyen respuestas al estrés biótico y abiótico (Hepler, 2005). Las plantas detectan y responden a estímulos endógenos y ambientales mediante la transducción de las señales de Ca (Jammes *et al.*, 2011). La proteína calmodulina es la encargada de vincular la señal intercelular del Ca a procesos celulares esenciales, esta proteína está formada por una cadena polipeptídica con cuatro sitios de unión al ion Ca (Chin, 2000), las calmodulinas se han vinculado con la regulación de genes implicados en la inmuno respuesta de las plantas a los patógenos (Reddy, 2011).

Otro elemento de interés es el hierro, un componente estructural y funcional de numerosos complejos enzimáticos como citocromos, catalasas, peroxidasas y ferredoxinas. Alrededor del 75 % del Fe celular se encuentra asociado con los cloroplastos indicando el rol importante que juega este elemento en el proceso

fotosintético. La carencia de hierro en las plantas se manifiesta con clorosis internerval en las hojas jóvenes, debido a que este elemento no se moviliza rápidamente desde las hojas más viejas. En condiciones extremas o severas de carencia la clorosis en la zona apical se intensifica, la división celular se inhibe y consecuentemente se detiene el crecimiento (Carbone, 2015).

Las plantas tienen la capacidad para modificar el ambiente del suelo para mejorar la disponibilidad de elementos, las raíces son el primer sitio de absorción de nutrientes, las plantas pueden modificar su arquitectura y el entorno para facilitar la disponibilidad de nutrientes (Chiou *et al.*, 2017), exudan compuestos que facilitan la disponibilidad de hierro y otros metales, las gramíneas secretan fitosideróforos y otras familias de plantas secretan riboflavinas y compuestos fenólicos (Chen *et al.*, 2017).

El hierro es abundante en el suelo, sin embargo el hierro es poco disponible a pH neutro o alcalino, por la formación de oxyhidratos de hierro Fe (III), las plantas que no pertenecen a la familia de las gramíneas pueden adquirir hierro por un proceso de solubilización, esta forma de adquirir hierro es conocida como estrategia-I; el hierro se solubiliza mediante la acidificación de la rizósfera, reduciendo al Fe(III) y Fe(II), el hierro libre puede entrar en los apoplastos de la raíz y ser transportado, cuando existe un estrés por deficiencia de hierro, las plantas con este tipo de estrategia acumulan y secretan compuestos de bajo peso molecular como riboflavinas, compuestos fenólicos y ácidos orgánicos (Chen *et al.*, 2017).

En berro se ha generado información de producción utilizando soluciones nutritivas mezclada con productos de desecho con potencial nutritivo o aporte de oxígeno o con variaciones en la concentración de cationes o aniones con buenos resultados.

Dos Santos *et al.* (2013), desarrollaron una solución nutritiva a partir de vinaza de caña de azúcar y la compararon con una solución comercial en producción por sistema NFT de lechuga (*Lactuca sativa*), berro (*Nasturtium officinale*) y arugula (*Eruca sativa*). La solución se formuló a partir de vinaza al 10 % y se agregaron 150 mg L⁻¹ NH₄PO₄, 750 mg L⁻¹ Ca(NO₃)₂ 6H₂O, 500 mg L⁻¹ KNO₃ y 400 mg L⁻¹ MgSO₄ 7H₂O y 1 mL L⁻¹ de solución concentrada de micronutrientes (2.34 mg L⁻¹ MnCl₂ H₂O, 0.88 mg L⁻¹ ZnSO₄ 7H₂O, 0.2 mg L⁻¹ CuSO₄ 5HO, 2.04 mg L⁻¹ H₃BO₃ y 0.26 mg L⁻¹ Na₂MoO₄ 2H₂O). La solución comercial se realizó con fertilizantes en la siguiente proporción: 800 mg L⁻¹

Kristalon® (06-12-36: NePeK), 800 mg L⁻¹ Calcinit®, 25 mg L⁻¹ HydroFe® y 1 mL L⁻¹ de solución concentrada de micronutrientes (2.34 mg L⁻¹ MnCl₂ H₂O, 0.88 mg L⁻¹ ZnSO₄ 7H₂O, 0.2 mg L⁻¹ CuSO₄ 5H₂O, 2.04 mg L⁻¹ H₃BO₃ y 0.26 mg L⁻¹ Na₂MoO₄ 2H₂O). Los resultados indicaron un incremento en el número de hojas de lechuga y una mayor desarrollo de la parte aérea de las plantas de berro tratadas con la solución de vinaza, proporcionando alternativas para la formulación de soluciones nutritivas y la eliminación racional de vinaza.

Carrasco *et al.* (2011) evaluaron el efecto de dosis de mezcla de ácido peroxiacético agregado a la solución nutritiva en la productividad de berro cultivado en sistema hidropónico las dosis utilizadas fueron 0, 20 y 40 mg L⁻¹, se evaluaron variables de crecimiento (altura de la planta, longitud de hoja y diámetro de tallo, biomasa fresca y seca) y variables organolépticas (aspecto general, sabor textura y color). La aplicación de mezclas de ácido peroxiacético influyó en todas las variables de crecimiento, los mejores resultados se obtuvieron con la dosis de 40 mg L⁻¹, con incrementos de 31, 25 y 31 % en la altura de planta, longitud de hoja y diámetro de tallo e incrementos de 62 y 67%, en el peso fresco y seco. Las variables organolépticas no se vieron afectadas por la aplicación de las mezclas de ácido peroxiacético, una mayor disponibilidad de oxígeno pudo influir en el mejor desarrollo de las raíces y favoreciendo la absorción de nutrientes aumentando la productividad de las plantas.

Kopsell *et al.* (2007) determinaron la influencia del N y el S a diferentes concentraciones en la producción de biomasa y carotenoides y en la concentración de glucosinolatos, los resultados muestran que el N influyó en el aumento de la biomasa y el contenido de β-caroteno luteína, 5,6-epoxyluteína, neoxantina y zeaxantina, e incrementó la concentración de glucosinolatos totales, mientras que la concentración de glucosinolatos alifáticos aromáticos y totales incremento con mayores concentraciones de S.

Kisten *et al.* (2015) evaluaron el impacto de la calidad del agua en el contenido elemental de plantas de berro colectadas en ocho sitios a lo largo de la costa Este de Zululandia (Sudáfrica), las muestras consistieron de 10 plantas con sus raíces y 600 mL de agua de cada zona de muestreo. Los resultados mostraron mayores concentraciones de elementos en las raíces que en las hojas de los berros, con un

contenido decreciente de los elementos Ca>Mg >Fe>Mn>Zn>Cu>Cr>Ni> Pb> Se> Cd>As>Co. Se observaron sinergias y relaciones antagónicas en las plantas y el agua que influyeron en la absorción de ciertos elementos, la plantas colectadas poseen gran cantidad de elementos como el Fe y el Cr y baja concentración de metales tóxicos, por lo que se considera que son seguros para el consumo humano.

1.6 CONCLUSIONES

La información sobre la biología del berro y aspectos de producción a cielo abierto y en sistemas hidropónicos muestran la plasticidad de la planta para adaptarse a variaciones climáticas, calidad del agua, su fácil reproducción y bajo requerimiento nutritivo ofrece un amplio campo para la investigación. Su variado contenido nutrimental y fitoquímico han despertado el interés de los sectores alimenticio, médico y cosmetológico, sin embargo, se ha dejado en un nivel secundario una parte fundamental, el método de producción.

Es conveniente conocer aspectos básicos de la producción de berro, para trasladar este cultivo a un sistema hidropónico para generar alternativas para su producción y analizar efectos de la nutrición como la concentración nutrimental, la relación de iones y el pH en aspectos de calidad, rendimiento y producción de metabolitos secundarios.

1.7 LITERATURA CITADA

- Abbasi, M.A.; M. H. Shah; T. Li; X Fu; X. Guo; y R. H. Liu. 2015. Ethnomedicinal values, phenolic contents and antioxidant properties of wild culinary vegetables. *Journal of Ethnopharmacology* 162:333–345.
- Aires, A.; R. Carvalho; A. S. E. Rosa; y M. J. Saavedra. 2013. Phytochemical characterization and antioxidant properties of baby-leaf watercress produced under organic production system. *CyTA – Journal of Food* 11(4):343–351.
- Austin, R. B. 1966. The growth of watercress (*Rorippa Nasturtium aquaticum* (L) Hayek) from seed as affected by the phosphorus nutrition of the parent plant. *Plant and Soil* 24:1.
- Carbone, A. 2015. Nutrición mineral. pp. 62-72. Beltrano J. y D. O. Gimenez. Cultivo en hidroponía. Editorial de la Universidad de La Plata. Buenos Aires, argentina.
- Carrasco, G.; C. Moggia; I. J. Osses; J. E. Álvaro; y M. Urrestarazu. 2011. Use of peroxyacetic acid as green chemical on yield and sensorial quality in watercress. (*Nasturtium officinale* R. Br.) Under soilless culture. *Int. J. Mol Sci.* 12:9463-9470.
- Chai, T. T.; K. F. Ooh; Y. Quah; y F. Wong C. 2015. Edible freshwater macrophytes: a source of anticancer and antioxidative natural products—a mini-review. *Phytochem Rev* 14:443–457.
- Chen, Y. T.; Y. Wang; y K. C. Yeh. 2017. Role of root exudates in metal acquisition and tolerance. *Current Opinion in Plant Biology* 39:66–72.
- Chiao, J. W.; H. Wu; G. Ramaswamy; C. C. Conaway; F. L. Chung; L. Wang; y D. Liu. 2004. Ingestion of an isothiocyanate metabolite from cruciferous vegetables inhibits growth of human prostate cancer cell xenografts by apoptosis and cell cycle arrest. *Carcinogenesis* 25:1403–1408.
- Chin, D.; y A.R.Means. 2000. "Calmodulin: a prototypical calcium sensor". *Trends Cell Biol.* 10 (8): 322–8.
- Chiou, T. J.; K. V. Versaw; y T. Fujiwara. 2017. Cell signaling and gene regulation: nutrient sensing, signaling, and transport. *Current Opinion in Plant Biology* 39:1–3.

- Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad. 2021. Ficha técnica del berro. [En línea].
<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/brassicaceae/rorippa-nasturtium-aquaticum/fichas/ficha.htm>
Fecha de acceso: 20-agosto-2021.
- Cruz, E C y A. Andrade-Cetto. 2015. Ethnopharmacological field study of the plants used to treat type 2 diabetes among the Cakchiquels in Guatemala. *Journal of Ethnopharmacology* 159:238–244.
- Cumbus, I. P.; D. J. Hornsey; y L. W. Robinson. 1977. The influence of phosphorus, zinc and manganese on absorption and translocation of iron in watercress. *Plant and Soil* 48: 651-660.
- Dos Santos, J. D.; A. L. Lopes S.; J. Luz C.; G. Newton S; A. Cristine N.; E. Bittencourt S.; y C. R. Soccol. 2013. Development of a vinasse nutritive solution for hydroponics. *Journal of Environmental Management* 114: 8-12.
- Engelen-Eigles, G.; G. Holden; D. Jerry; J. D. Cohen; y G. Gardner. 2006. The Effect of Temperature, Photoperiod, and Light Quality on Gluconasturtiin Concentration in Watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.). *Agric. Food Chem.* 54:2.
- Faizy, H. S.; L. S. Esmail; y H. S. Mahdi. 2021. Phytochemicals Analysis in Watercress (*Nasturtium officinale*) Plant extracts. *IOP Conf. Ser.: Earth environ. Sci.* 761: 012042.
- Fennell, F. M. J. 2006. Potential for watercress production in Australia. Rural Industries Research and Development Corporation. Australia. 66 p.
- Going, B.; J. Simpson; y T. Even. 2008. The influence of light on the growth of watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.). *Hydrobiologia* 607:75–85.
- Googolee, A. M.; S. D. Takooree; D. Goburdhun; y H. Neetoo. 2020. Characterizing the cultivation practices and microbiological quality of watercress. *Journal of Agriculture and Food Research* 2:100057.
- Hepler, P. K. 2005. Calcium: a central regulator of plant growth and development. *The Plant Cell Online*, 17(8): 2142-2155.

- Irhayyim, T.; M. Fehér; J. Lelesz; M. Bercsényi; y P. Bársony. 2020. Nutrient removal efficiency and growth of watercress (*Nasturtium officinale*) under different harvesting regimes in integrated recirculating aquaponic systems for rearing common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Water*. 12:1419.
- Jammes, F.; H. C. Hu; F. Villiers; R. Bouten; y J. M. Kwak. 2011. Calcium-permeable channels in plant cells. *FEBS Journal* 278(22): 4262-4276.
- Juárez, H. M. J.; G. A. Baca C.; L. A. Aceves N.; P. Sánchez G.; J. L. Tirado T.; J. Sahagún C.; y M. T. L. Colinas. 2006. Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. *Interciencia* 31(4): 246-253.
- Kisten, K.; D. Gounden, R. Moodley; y S. B. Jonnalagadda. 2015. Elemental distribution and uptake by watercress (*Nasturtium aquaticum*) as a function of water quality. *Journal of environmental science and health, Part B* 50:439–447.
- Klimek-Szczykutowicz, M.; A. Szopa; y H. Ekiert. 2018. Chemical composition, traditional and professional use in medicine, application in environmental protection, position in food and cosmetics industries, and biotechnological studies of *Nasturtium officinale* (watercress) – a review. *Fitoterapia* 129: 283-292.
- Kopsell, D. A.; T. C. Barickman; E. C. Sams; y J. S. Mcelroy. 2007. Influence of Nitrogen and Sulfur on biomass production and carotenoid and glucosinolate concentrations in watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.). *J. Agric. Food Chem.* 55:10628–10634.
- Kratky, B. A. 2015. Growing direct-seeded watercress by two non-circulating hydroponic methods. *Vegetable Crops* 7.
- Lara, H. A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra*. 173: 221-227.
- Lira, M.R.; Ê. F.F. Silva; G. F. Silva; H. R. Soares L.; y G. Willadino. 2018. Growth, water consumption and mineral composition of watercress under hydroponic system with brackish water. *Horticultura brasileira* 36: 13-19.

- Manchali, S.; N. Kotamballi; K. N. Chidambara M.; y B. S. Patilb. 2012. Crucial facts about health benefits of popular cruciferous vegetables *Journal of functional foods* 4:94–106.
- Marschner, P. 2012. Mineral Nutrition of higher plants Third edition. Academic Press. Estados Unidos de América. 651 p.
- Menković, N.; Savikin K.; Tasić S.; Zdunić G.; Stešević D.; Milosavljević S.; y D. Vincek. 2011. Ethnobotanical study on traditional uses of wild medicinal plants in Prokletije Mountains (Montenegro). *Journal of Ethnopharmacology* 133: 97–107.
- Miraldi, E.; S. Ferri; y V. Mostaghimi. 2001. Botanical drugs and preparations in the traditional medicine of West Azerbaijan (Iran). *Journal of Ethnopharmacology* 75:77–87.
- Moreno, D.; M. Carvajal; C. López-Berenguer; y C. García-Viguera. 2006. Chemical and biological characterisation of nutraceutical compounds of broccoli. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 41:1508–1522.
- Nawaz, H.; M. A. Shad; y S. Muzaffar. 2018. Phytochemical Composition and Antioxidant Potential of Brassica. *Intech Open* 76120.
- Nicola, S.; J. Hoeberechts; y E. Fontana. 2007. Ebb-and-flow and floating systems to grow leafy vegetables: a review for rocket, corn salad, garden cress and purslane. *Acta Horticulturae* 747: 585–592.
- Nicola, S.; G. Pignata; M. Casale; P. E. Lo Turco; y W. Gaino. 2016. Overview of a lab-scale pilot plant for studying baby leaf vegetables grown in soilless culture. *The Horticulture Journal* 85 (2): 97–104.
- Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. 2004. Vitamin and mineral requirements in human nutrition. 362 p.
- Ortiz-Hernandez, D. Y.; G. A. Martínez-Gutierrez; M. Urrestarazu; L. Vasquez-Vasquez; y C. Escamirosa-Tinoco. 2015. Productivity under shade and different nutrient solution of hydroponic watercress (*nasturtium officinale* r. br.). *Journal of Plant Nutrition*, 38:1495–1504.

- Pignata, G.; D. Niñirola; M. Casale; P. E. L. Turco; C. Egea-Gilabert; J. A. Fernández; y S. Nicola. 2015. Inherent quality and safety of watercress grown in a floating system using *Bacillus subtilis*. *The Horticulture Journal Preview*.
- Raiola, A.; A. Errico; G. Petruk; D. M. Monti; A. Barone; y M. M. Rigano. 2018. Bioactive Compounds in Brassicaceae Vegetables with a Role in the Prevention of Chronic Diseases. *Molecules* 23:10.
- Reddy, A. S.; G. S. Ali; H. Celesnik; y I. S. Day. 2011. Coping with stresses roles of calcium-and calciumcalmodulin-regulated gene expression. *The Plant Cell Online* 23(6): 2010-2032.
- Rehman, K.; Z. R. Mashwani; M. A. Khan; Z. Ullah; y H. J. Chaudhary. 2015. Anethno botanical perspective of traditional medicinal plants from the Khattak tribe of Chonhra Karak, Pakistan. *Journal of Ethnopharmacology* 165: 251–259.
- Rincón, P. A. 2014. Biosíntesis de los glucosinolatos e importancia nutricional humana y funciones de protección a las plantas. *Revista Alimentos Hoy* 22 (31):64-80.
- Rose, P.; Y. K. Won; C. N. Ong; y M. Whiteman. 2005. Beta-phenylethyl and 8-methylsulphonyloctyl isohiocyanates constituents of watercress suppress LPS inducedproduction of nitric oxide and prostaglandin E2 in RAW 264.7 macrophages. *Nitric Oxide* 12: 237-243.
- Schuchardt, J. P.; A. Hahn; T. Greupner; P. Wasserfurth; M. Rosales-López; J. Hornbacher; y J. Papenbrock. 2019. Watercress – cultivation methods and health effects. *Journal of applied botany and food quality* 92:232 – 239.
- Siew, Y. Y.; S. Zareisedehizadeh; W. G. Seetoh; S. Y. Neo; C.H. Tan; y H. L. Koh. 2014. Ethnobotanical survey of usage of fresh medicinal plants in Singapore. *Journal of Ethnopharmacology* 155:1450–1466.
- Soledade, M.; C. Pedras; y Q. Huy To. 2015. Non-indolyl cruciferous phytoalexins: nasturlexins and tridentatols, a striking convergent evolution of defenses in terrestrial plants and marine animals? *Phytochemistry* 113: 57–63.
- Souza, C. A.; A. O. Silva; J. Silva G. S.; C. Feitosa C.; y G. F. Silva. 2020. Production of watercress with brackish water and different circulation times for the nutrient solution. *Revista Ciência Agronômica*. 51:3.

- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. pp. 633-650. In: Proceedings 6th International Congress on Soils Culture. Wageningen, The Netherlands.
- Suroowan, S.; y M. F. Mahomoodally. 2016. A comparative ethnopharmacological analysis of traditional medicine used against respiratory tract diseases in Mauritius. *Journal of Ethnopharmacology* 177: 61–80.
- Tardío, J.; M. C. Sánchez-Mata; R. Morales; M. Molina; P. García-Herrera; P. Morales; C. Díez-Marqués; V. Fernández-Ruiz; M. Cámara; M. Pardo-de-Santayana; M. C. Matallana-González; B. M. Ruiz-Rodríguez; D. Sánchez-Mata; M. E. Torija-Isasa; J. L. Guil-Guerrero; y N. Boussalah. 2016. Ethnobotanical and Food Composition Monographs of Selected Mediterranean Wild Edible Plants pp. 273-470. In: Sánchez-Mata M. C.; y J. Tardío. (Eds). Mediterranean Wild Edible Plants Ethnobotany and Food Composition Tables. Springer. New York.
- Trejo-Téllez, L. I.; y F. C. Gómez-Merino. 2012. Nutrient Solutions for Hydroponic Systems. pp. 1-24. Asao T. Hydroponics – A Standard Methodology for Plant Biological Researches. INTECH. Shanghai, China.
- United States Department of Agriculture 2021. Clasificación taxonómica del berro. [En línea].
<https://plants.usda.gov/home/plantProfile?symbol=NAOF>
Fecha de acceso 20-agosto-2021
- United States Department of Agriculture 2021. Información nutrimental del berro. [En línea].
<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170068/nutrients>
Fecha de acceso 25-agosto-2021
- Williams, J. D.; C. Critchley; S. Pun; M. Chaliha; y T. J. O'Hare. 2009. Differing mechanisms of simple nitrile formation on glucosinolate degradation in *Lepidium sativum* and *Nasturtium officinale* seeds. *Phytochemistry* 70: 1401–1409.
- Zeb, A. 2015. Phenolic profile and antioxidant potential of wild watercress (*Nasturtium officinale* L.) Springer Plus 4:714.

CAPÍTULO 2

PRODUCCIÓN DE BERRO (*Nasturtium officinale* R. Br.) EN CUAUTLA, MORELOS, MÉXICO

2.1 RESUMEN

La riqueza hídrica de la zona centro-oriente de Morelos ha permitido el aprovechamiento de los manantiales y del río Cuautla para el establecimiento del cultivo de berro (*Nasturtium officinale* R. Br.) en el municipio de Cuautla, donde la siembra de esta hortaliza tiene más de 70 años. Sin embargo, es escasa la información sobre el sistema de producción y el impacto económico en la región. Es por ello que el objetivo fue describir aspectos sociales, técnicos y de comercialización sobre el cultivo de berro producido en el municipio de Cuautla, Morelos. La investigación se realizó en el año 2018. Se entrevistó a productores y se realizaron visitas a las unidades de producción. Lo anterior permitió obtener información sobre aspectos relacionados con la producción, comercialización y beneficios económicos. Los ejidos productores de berro son Cuautla, Cuautlixco y Santa Inés. Existen dos asociaciones y algunos productores independientes, quienes han dispersado esta hortaliza en toda la zona productora, así como su manejo agronómico y centros de venta. La producción de berro en la región no figura en las estadísticas estatales, pero esta actividad agrícola genera beneficios económicos y empleos. La información recabada permitirá conocer mejor el sistema de producción de berro y proponer alternativas para su manejo.

Palabras clave: *Nasturtium officinale*, cultivo, productores, río Cuautla, producción.

2.2 SUMMARY

The water wealth of the central-eastern area of Morelos has allowed the use of the springs and the Cuautla river for the establishment of watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.) in the municipality of Cuautla, where the planting of this vegetable is more than 70 years old. However, information on the production system and the economic impact in the region is scarce. That is why the aim was to describe social, technical and marketing aspects of watercress cultivation produced in the municipality of Cuautla, Morelos. The research was conducted in 2018. Producers were interviewed and visits were made to the production units. The above allowed to obtain information on aspects related to production, commercialization and economic benefits. Watercress producing ejidos are Cuautla, Cuautlixco and Santa Ines. There are two associations and some independent producers, who have dispersed this vegetable throughout the production area, as well as its agronomic management and sales centers. Watercress production in the region is not included in state statistics but this agricultural activity generates economic benefits and jobs. The information collected will allow to know better the watercress production system and propose alternatives for its management.

Key words: *Nasturtium officinale*, cultivation, producers, Cuautla river, production.

2.3 INTRODUCCIÓN

El municipio de Cuautla es rico en manantiales, utilizados para la extracción de agua potable, como atractivo turístico y para la agricultura (CONAGUA, 2010). Además, el río Cuautla cruza la entidad de norte a suroeste. El agua de este río es utilizada para labores domésticas, producción agrícola y para la industria (CEAGUA, 2014). Entre las labores agrícolas, el agua de los manantiales y del río Cuautla es utilizada para la producción de berro (*Nasturtium officinale* R. Br.), una planta acuática, perenne (CONABIO, 2018), de gran calidad nutrimental, fuente de calcio (Ca), fósforo (P), potasio (K), hierro (Fe), magnesio (Mg) y vitamina C (USDA, 2018). En algunos países de Europa, Asia y África el berro es utilizado en la medicina tradicional para tratar desordenes del tracto respiratorio como tos, gripa, y bronquitis (Siew *et al.*, 2014; Suroowan y Mahomoodally, 2016), problemas estomacales como estreñimiento y dispepsia (Abbasi *et al.*, 2015; Rehman *et al.*, 2015). Además de estas propiedades, se han realizado investigaciones utilizando berro como planta biorremediadora de insecticidas organofosforados con buenos resultados (Al-Qurainy y Abdel-Megeed, 2009).

El berro se originó en Europa, Asia occidental, India y África (WDNR, 2009). En la actualidad, en el Reino Unido y Estados Unidos existe una gran demanda de esta hortaliza. En estos países la producción se realiza al aire libre, con un sistema planificado de camas con paredes de concreto y caminos entre camas para facilitar la producción y recolección. El corte se realiza con máquinas cosechadoras, y la selección, lavado y empacado se realizan con empacadoras mecanizadas. En los países en referencia se han creado campañas de mercadotecnia enumerando las propiedades nutrimentales de esta hortaliza propiciando mayor demanda de este producto. Otra alternativa de producción utilizada en países como Nueva Zelanda, donde es difícil utilizar agua de fuentes naturales como ríos y arroyos, o Australia donde el berro es poco demandado, es la producción hidropónica para optimizar el uso de agua, espacio y facilitar el manejo general del berro (Fennell, 2006).

En el municipio de Cuautla el berro fue introducido en la década de los cuarenta. El cultivo se inició en las orillas del río y en el cauce de algunos manantiales como La

Mora y Santa Inés. Desde esos años, la siembra de esta hortaliza se ha ido expandiendo del ejido de Cuautla a otros, como Cuautlixco y Santa Inés.

Aunque la producción de berro tiene más de 70 años en la región, su manejo no ha cambiado desde su introducción. Las labores de siembra, manejo agronómico y corte se siguen realizando de forma manual, lo que podría permitir mejoras en el sistema de producción o la incorporación de alternativas de producción como el cultivo en sistema hidropónico. Esta tecnología puede emplearse en pequeños espacios, utiliza menos agua e incorpora los nutrientes requeridos por el cultivo. Estas características pueden ayudar a mejorar la calidad y el rendimiento del producto, disminuir la contaminación y el gasto del agua (Zárate, 2014). El objetivo de esta investigación fue describir aspectos sociales, técnicos y de comercialización sobre el cultivo de berro producido en el municipio de Cuautla, Morelos.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en dos etapas: documental y de campo. En la primera etapa se visitaron las oficinas de la Asociación de Usuarios del Río Cuautla, Manantiales y Corrientes Tributarias “Gral. Eufemio Zapata Salazar” A. C. (ASURCO) encargada de administrar los recursos e infraestructura del distrito de riego 016, con la finalidad de recabar información sobre el uso del agua del río Cuautla. En la segunda, se visitaron las zonas de cultivo de berro y se realizaron las entrevistas a productores con la finalidad de conocer el proceso de producción. Para esto se diseñó un cuestionario con preguntas abiertas, divididas en cuatro secciones.

- Características de los productores: nombre, género, edad, localidad, superficie cultivada y años de productor.

- Manejo agronómico del berro: origen de la planta, variedad, método de siembra, temporada de siembra, uso de equipo o maquinaria, diferenciación de etapas fenológicas prácticas culturales, plagas y enfermedades que atacan a la planta y su control, uso de fertilizantes, enraizadores u otro insumo agrícola, nuevos problemas fitosanitarios, origen del agua de riego y cosecha (tiempo transcurrido desde la siembra hasta la cosecha, indicadores de madurez, método de cosecha y criterios de clasificación de calidad).

- Comercialización y consumo: rendimiento, empaque, lugar de comercialización, transporte, medida de venta, precio del producto, principales consumidores, métodos de consumo y otros usos.

- Costos de producción del berro: apoyos gubernamentales, costos de producción y otros problemas emergentes.

Las entrevistas a productores de berro de la zona oriente del estado de Morelos se realizaron durante los meses de enero a noviembre del 2018. Solamente 10 productores de berro estuvieron dispuestos a responder a las preguntas y permitir visitas a sus parcelas. El resto de los productores se negaron a participar como informantes en la investigación. De las personas entrevistadas cinco pertenecen al ejido de Cuautlixco; uno, al ejido de Santa Inés, y cuatro, al ejido de Cuautla (Cuadro 1). Los productores y trabajadores fueron entrevistados en la zona productora. Con los

datos recabados se determinaron las características de los productores, el manejo agronómico del berro, su importancia económica y costos de producción.

Cuadro 1. Sitios de entrevistas en los ejidos Cuautla, Cuautlixco y Santa Inés

Ejido	Coordenadas de la unidad de producción de berro	Observaciones
Cuautlixco	18°49'46.14" N 98°56'32.1" O	Entrevista e inicio de la zona berrera.
Cuautlixco	18°49'43.38" N 98°56'24.3" O	Entrevista y muestreo de homópteros y lepidópteros.
Cuautlixco	18°49'38.58" N 98°56'28.02" O	Entrevista y colecta de camaroncillo.
Cuautlixco	18°49'22.62" N 98°56'17.16" O	Entrevista
Cuautla	18°49'8.82" N 98°56'43.92" O	Entrevista, finaliza el sitio de producción de berro permitido por ASURCO.
Cuautla	18°49'12.18" N 98°56'43.98" O	Entrevista
Cuautla	18°49'28.9" N 98°56'36.9" O	Entrevista
Santa Inés	18°50'61.2" N 98°57'36.84" O	Colecta de lepidópteros.
Santa Inés	18°49'51.84" N 98°57'55.44" O	Entrevista

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1 Características de los productores

Todas las personas entrevistadas fueron hombres, de edad entre 38 y 55 años, con 10 a 30 años de experiencia en la producción de berro. La superficie de siembra mínima es de 1000 m² (una tarea), y la máxima de 1 ha (10 tareas). Ávalos *et al.* (2010) señalan que algunos productores de berro del municipio de Cuautla cuentan con permisos provisionales para la producción agrícola en los terrenos de la ribera del río y de los manantiales cercanos, y a pesar de ser ambiguos, son respetados por las autoridades locales y estatales. Con respecto a la edad de los productores, la FAO (2018) señala 56 años, en promedio, de la población que posee legalmente la tierra en México. Este envejecimiento ha creado una brecha tecnológica.

Los productores de berro se concentran en los ejidos de Cuautlixco, Cuautla y Santa Inés. En Cuautla y Cuautlixco hay dos asociaciones: la Asociación de productores de berro de Cuautlixco y la Asociación de productores de berro, zacate y hortalizas. En total son 63 miembros. Además de estas asociaciones, existen productores independientes que solo rentan los predios, por lo cual, no existe un registro exacto de cuantas personas se dedican al cultivo de berro. En el ejido de Santa Inés todos los productores son independientes. La zona productora de berro de los ejidos de Cuautlixco y Cuautla comprende 1.3 km a lo largo del río Cuautla, desde el nacimiento del manantial La Mora, 18° 49' 46" N 98° 56' 23" O, hasta la presa derivadora El Zapote, 18° 49' 8" N, 98°56' 43" O.

El ejido de Santa Inés cuenta con distintos predios desde 18° 50' 6.12" N, 98° 57' 34.84" O a 18° 49' 51.84" N, 98° 57' 55.44" O, por donde pasa el agua proveniente del manantial Santa Inés. En este ejido el terreno ha sido acondicionado para el cultivo del berro, ya que a diferencia de los ejidos de Cuautla y Cuautlixco, se cultivaba caña de azúcar, maíz y frijol. En Cuautla, la actividad agrícola representa un tercio de la producción. Destacan los cultivos de caña de azúcar, arroz, maíz, frijol y hortalizas, como la calabaza y el pepino (CONAGUA, 2010; SIAP, 2019). Sin embargo, la producción de berro parece no ser de impacto, ya que no figura dentro de la lista de

hortalizas producidas en el municipio (INEGI, 2018). Esto podría deberse a que los productores poseen predios pequeños y gran parte de la superficie sembrada con berro está ubicada en el paso natural del manantial La Mora y en las orillas del río Cuautla, y por tal motivo no está considerada zona de cultivo. En el ejido de Santa Inés el desplazamiento de cultivos básicos por berros puede ser considerado un indicador de la importancia de esta hortaliza. El constante conflicto con otros usuarios del agua del río Cuautla y con ASURCO (Ávalos *et al.*, 2010) puede ser otra causa de desinformación sobre la importancia del cultivo. El roce con autoridades ha creado desconfianza en los productores y ha formado una barrera que no permite el acceso a información real de producción y desarrollo económico.

2.5.2 Manejo agronómico del berro

Los productores desconocen la existencia de variedades comerciales de berro, ya que la planta utilizada en los tres ejidos ha sido propagada por esqueje y se ha dispersado en la región productora mediante compra, préstamo o regalo. La planta madre de berro fue introducida por el C. Genaro Millán de la Luz hace 80 años aproximadamente, de la región de Toluca, Estado de México. La fuente hídrica que se utiliza para la producción de berro es agua de los manantiales Santa Inés en el ejido Santa Inés, La Mora en el ejido de Cuautlixco, y agua del río Cuautla. Los ejidatarios entrevistados tienen manejo agronómico similar del berro, con algunas variaciones en el manejo de plagas y la fertilización. El ciclo completo es de 45 a 60 días después del trasplante y la cosecha varía en función de la demanda del producto. La experiencia de los productores entrevistados, en cuanto al manejo del berro se refiere, es el resultado de años de experiencia propia, compartida con hijos, amigos y conocidos, lo que ha permitido la expansión del cultivo de berro en Cuautla. Este modelo de aprendizaje y adquisición de responsabilidades jurídicas y económicas ha dominado gran parte del sector agrícola (Martínez y Rendón, 1983).

Los productores de los tres ejidos utilizan el sistema de melga, la cual es una represa formada por bordos de tierra que sirven para encausar el agua. Cuando la melga está conformada, se permite el flujo constante de agua, promovido por el desnivel en el

interior entre la entrada y salida. Para el establecimiento del cultivo se utiliza planta enraizada de un terreno aledaño o es seleccionada de las cosechadas en el mismo lugar de plantación. Para ello se eligen las que no presenten daños físicos aparentes y con gran cantidad de raíces. Estos esquejes se lavan con el agua del río para eliminar el lodo de las raíces y se plantan nuevamente en el fondo de la melga hasta cubrir toda la superficie. Si la planta se trae de otro terreno, se corta en esquejes de 15 a 20 cm y se coloca en el fondo de la melga. Este proceso se conoce como plantado del berro. Ocho días después de la plantación ya se observa el crecimiento de los nuevos brotes. En este momento se inician las aspersiones de insecticidas para prevenir el daño en las hojas nuevas por infestaciones de palomillas y chicharritas, y de las raíces del berro por ataque del camaroncillo (crustáceo). Los insecticidas utilizados son: clorpirifos (Lorsban®, Controla®, Clorver®) a una dosis de 1 L/ha cada uno, y metomilo (Lannate®) 250 g/ha. Estos mismos productos se aplican a los 10 días después de la primera aspersión.

A los 30 días del trasplante se asperjan nuevamente los insecticidas indicados anteriormente (clorpirifos 1 L/ha y metomilo 250 g/ha), pero esta vez se mezclan con fertilizantes foliares como Folifertil® y Grogreen® a una dosis de 1 kg/ha y promotores de crecimiento como el Viretrol 20500®, 250 mL/ha. Si el productor observa amarillamiento en ciertas zonas del cultivo aplica sulfato ferroso pentahidratado en polvo (cantidad no determinada) en la entrada de la melga, espolvoreándolo para que se diluya y se disperse con el agua en toda la superficie plantada con berro.

A los 35 días se aplica la última aspersión de fertilizantes foliares y promotores de crecimiento (Folifertil® y Grogreen® 1 kg/ha y Viretrol 20500® 250 mL/ha). Después de este tiempo solo se realizan labores de deshierbe de los bordos y se mantiene constante el suministro de agua hasta que la planta alcanza una longitud promedio de 50 cm, tamaño ideal para la cosecha.

La cosecha del berro se realiza por la tarde con el propósito de evitar la deshidratación de los brotes, de manera manual con machete, y con las manos se eliminan todas las hojas viejas. Se hacen manojos aproximadamente de 10 kg cada uno y se amarran con palma, se lava cada manojos con la finalidad de quitar residuos de lodo y hojas, se recortan los tallos para que el manojos quede parejo y se traslada hasta la orilla del

terreno de cultivo donde se cubre con hierba húmeda y así disminuir la deshidratación. Por último, para su traslado al punto de venta, el berro se embolsa y estiba en el transporte.

Después del primer corte se inicia nuevamente el ciclo por tres o cuatro veces. Esto dependerá de la calidad de la planta y de la cantidad de lodo acumulado en la melga, ya que cuánta más tierra se haya acumulado en las raíces del berro la planta pierde vigor, lo cual merma el rendimiento y la calidad. Cuando empieza a disminuir el rendimiento se arranca la planta, se acondiciona nuevamente la melga y se vuelve a plantar.

El manejo agronómico realizado en el municipio de Cuautla es similar al de otros países productores de berro. Sin embargo, la tecnificación en la producción ha hecho a este cultivo más rentable. En Estados Unidos la forma de producción de berro inició de forma similar a la observada en Cuautla. Un sitio de gran importancia fue Huntsville, Alabama, conocida como “La capital mundial del berro”. A diferencia del municipio de Cuautla, en 60 años (1900’s a1960’s) la producción de berro de Huntsville, Alabama, pasó de ser distribuía de forma local a cubrir gran parte de los Estados Unidos, gracias a innovaciones en el empaclado y el envío. Además, se mejoraron prácticas agrícolas como la conservación del suelo, el control de malezas e insectos y se cuidó la calidad del agua utilizada para la producción (Lang, 2006). Going *et al.* (2008) señalan que la adaptación a un gran rango de hábitats y espectros de luz ha influido en la amplia distribución del berro. La capacidad de la planta para crecer en agua corriente, en sustratos como tierra y arena, y su tolerancia a la salinidad del agua (Schuchardt *et al.*, 2019) permiten su adaptación en sistemas hidropónicos con un manejo sencillo de la planta (Kratky, 2015; Irhayyim *et al.*, 2020).

La nutrición y el control de plagas son aspectos prioritarios en la producción de berro en el municipio de Cuautla, pero aun estos rubros pueden ser mejorados. En esta región, la nutrición del berro se basa en el uso de productos foliares con formulaciones de macronutrientes y hierro disuelto en el agua, pero los productores desconocen las interacciones ocurridas en el agua y la cantidad de elementos absorbidos por la planta. La incorporación de fertilizantes puede incrementar los niveles de nitrógeno amoniacal, nitratos y fósforo. Eguía-Lis *et al.* (2015) señalan que en sitios de muestreo cercanos

a la zona berrera, estos elementos superan los límites establecidos por la Ley Federal de Desechos 2014, lo cual puede repercutir en el rendimiento obtenido por los productores. Según Fernandez-Going *et al.* (2013), las plantas de berro se adaptan a la disponibilidad de nutrientes presentes en el agua: crecen lento en baja concentración, mientras que en alto contenido de nutrimentos en el agua se acelera el crecimiento, la acumulación de biomasa y de nitrógeno. Sin embargo, si existe mayor cantidad de P, se reduce la de nitratos disponibles disminuyendo el rendimiento. Para evitar estas variaciones en la concentración de nutrientes en el agua, en Reino Unido se regula la fertilización mediante el análisis del agua de descarga agregando semanalmente las cantidades de nutrientes necesarias para una buena producción de berro (Fennell, 2006), para evitar la contaminación del agua por exceso de elementos.

2.5.3 Comercialización y consumo

Todos los productores entrevistados venden el berro a pie de su parcela. No existe una clasificación por la calidad del producto y la venta es en manojos de 10 kg (estándar) o de 7 kg (armaditas). El precio del berro es de 20 pesos el manajo estándar mientras que las armaditas cuestan 12 pesos. Este producto se traslada y comercializa fuera del estado de Morelos: Mercado de las Flores y Hortalizas en la Ciudad de México, Puebla y Acapulco. En la región se comercializa en la Plaza Comercial 12 de octubre y en los mercados de Cuautla, Morelos.

En 1000 m² (una tarea) se pueden cosechar hasta 540 manojos de berro, con peso que oscila entre 7 kg (armaditas) y 10 kg (estándar), por lo que en cada corte se pueden obtener de 3.7 a 5.4 t. En un año se pueden realizar hasta seis cortes. De esta manera el rendimiento anual estimado es de 22.68 a 32.40 t/1000 m².

2.5.4 Costos de producción del berro

Los productores de berro entrevistados desconocen si existen programas de subsidio federal, por lo que no cuentan con ningún apoyo gubernamental. Además, no tienen un costo calculado de gastos de producción, pero con base en el rendimiento obtenido por 1000 m² y costo de mano de obra e insumos, el ingreso estimado, los gastos de producción y las utilidades son las siguientes. El rendimiento por corte es de 5.4 t/1000

m², un ingreso bruto de \$10,800 y costo de producción de \$2,600.00 a \$5,740.00. Esta variación se debe a que algunos productores pagan el corte de la planta, mientras en otros casos, el corte lo paga el comprador. De esta forma los costos de producción disminuyen 45 %. La utilidad estimada es de \$5,329.00 a \$8,209.00 por corte /1000 m². Carton (2009) señala que entre las décadas de los ochentas y noventas la sociedad agraria ha pasado a ser una sociedad rural, donde el sector agrícola coexiste con otras actividades económicas y ocupa un papel secundario. En la actualidad las familias campesinas se diversifican para mitigar los bajos precios de sus productos, combinando la actividad agropecuaria y el trabajo asalariado en sus localidades o emigrando a otros estados o fuera del país. El dinamismo vivido por la generación actual ha influido de tal forma que los hijos de quien hoy posee la tierra no ven en la agricultura un medio para mejorar sus condiciones de vida.

En el municipio de Cuautla, el sistema de producción de berro es totalmente manual y requiere grandes cantidades de agua corriente, lo que restringe a áreas muy reducidas la siembra de esta hortaliza. En la actualidad, en Estados Unidos y Reino Unido la siembra tradicional sigue los mismos principios, pero la producción es tecnificada durante todo el proceso. Una ventaja de la producción de berro en estos países es la popularidad de esta hortaliza lo que ha permitido mayor inversión. Por otro lado, países como Nueva Zelanda y Australia han optado por producir berro en hidroponía (Fennell, 2006). En Brasil se ha buscado como alternativa el uso de agua con alto contenido de sales para su producción. Los resultados son favorables, con algunos inconvenientes como el incremento en el contenido de fósforo, sodio y cloro, y la reducción de potasio y de materia seca en 10% (Lira *et al.*, 2018).

La tecnificación del sistema abierto de producción y la hidroponía son alternativas viables para emplearse en el municipio de Cuautla para mejorar la calidad y rendimiento, y de esta manera acceder a mercados más restrictivos.

Otro inconveniente relacionado con la producción de berro es la escases y la demanda del líquido por otros sectores de la sociedad. El crecimiento urbano e industrial ha empezado a competir con el sector agrícola por el uso del suelo y el agua de la región, pues disminuye el volumen de agua utilizado por el sector agrícola y la contamina por la descarga de aguas residuales a ríos y canales (CEAGUA, 2017).

Una alternativa con potencial para lidiar con todos estos inconvenientes es el cultivo de berro en hidroponía, la cual permite mejorar el aprovechamiento del espacio, el agua y la nutrición de los cultivos (Zárate, 2014). La eficiencia en el uso del agua es una de las principales características de la hidroponía. Se calcula que el gasto de agua en algunas especies se reduce a la mitad en comparación con un sistema convencional (Salazar-Moreno *et al.*, 2014). Estados Unidos, Nueva Zelanda y Australia producen berro comercial en sistemas hidropónicos (Fennell, 2006).

2.6 CONCLUSIONES

Los productores entrevistados de la zona berrera de Cuautla, Morelos, rebasan los 30 años de edad y cuentan con amplia experiencia en el manejo de este cultivo. Sin embargo, carecen de infraestructura para mejorar la calidad y rendimiento.

La producción de berro en el municipio de Cuautla es completamente manual, se utiliza la misma planta y se emplea tecnología básica. El control de plagas es mediante plaguicidas comerciales y la nutrición de las plantas se realiza con fertilizantes foliares y sulfato ferroso pentahidratado disuelto en el agua que fluye al área de producción (melga).

La demanda del berro se ha incrementado en los últimos años, pero sin cambio en el sistema tradicional de producción. Esta condición representa una oportunidad para introducir mejores técnicas para incrementar el rendimiento y con ello satisfacer la demanda.

El ingreso que obtienen los productores por la venta del berro es insuficiente para satisfacer las necesidades básicas de sus familias, no obstante, con la producción continua del berro garantizan la posesión permanente de sus tierras.

2.7 LITERATURA CITADA

- Abbasi M. A.; M. H. Shah; T. Li; X. Fu; X. Guo; y R. H. Liu. 2015. Ethnomedicinal values, phenolic contents and antioxidant properties of wild culinary vegetables. *Journal of Ethnopharmacology* 162:333–345.
- Al-Qurainy F. y A. Abdel-Megeed 2009. Phytoremediation and detoxification of two organophosphorous pesticides residues in Riyadh area. *World Applied Sciences Journal* 6:987-998.
- Ávalos G. C.; G. Aguilar Sánchez; y J. Palerm Viqueira. 2010. Gestión técnica y social del uso del agua en Morelos: caso Río Cuautla. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. Estado de México. 342 p.
- Carton G. H. 2009. La desagrarización del campo Mexicano. *Convergencia. Revista de Ciencias Sociales* 16:13-55.
- Comisión Estatal del Agua (CEAGUA). 2014. Estadísticas del agua en el estado de Morelos 2014. Morelos, México. 106 p.
- Comisión Estatal del Agua (CEAGUA). 2017. Estadísticas del agua en el estado de Morelos 2017. Morelos, México. 198 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2010. Programa hídrico visión 2030 del estado de Morelos. [En línea] http://centro.paot.org.mx/documentos/conagua/vision_2030_morelos.pdf
Fecha de acceso: 15-septiembre-2018.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2018. Ficha técnica del berro. [En línea] <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/brassicaceae/rorippa-nasturtium-aquaticum/fichas/ficha.htm>
Fecha de acceso: 15-septiembre-2018.
- Eguía-Lis P. A.; J. Izurieta Dávila; M. Miganjos Carro; y R. González Villela. 2015. Indicadores de integridad ecológica y salud ambiental para las cuencas de los ríos Yautepec y Cuautla, Morelos. 1ra Etapa, Informe final. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 453 p.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2018. México rural del siglo XXI. Ciudad de México. 19 p.
- Fennell F. M. J. 2006. Potential for watercress production in Australia. Rural Industries Research and Development Corporation. Australia. 66 p.
- Fernandez-Going B.; T. Even; y J. Simpson. 2013. The effect of different nutrient concentrations on the growth rate and nitrogen storage of watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.). *Hydrobiologia* 705:63–74.
- Going B.; J. Simpson; y T. Even. 2008. The influence of light on the growth of watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.). *Hydrobiologia* 607:75–85.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2018. Encuesta Nacional Agropecuaria. [En línea]
<http://www.inegi.org.mx/>
Fecha de acceso: 28-septiembre-2018.
- Irhayyim T.; M. Fehér; J. Lelesz; M. Bercsényi; y P. Bársony. 2020. Nutrient removal efficiency and growth of watercress (*Nasturtium officinale*) under different harvesting regimes in integrated recirculating aquaponic systems for rearing common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Water* 12:1-15.
- Kratky B. A. 2015. Growing direct-seeded watercress by two non-circulating hydroponic methods. *Vegetable Crops* 7:1-22.
- Lira M. R.; Ê. F. F Silva; G. F. Silva; H. R Soares; y L. G. Willadino. 2018. Growth, water consumption and mineral composition of watercress under hydroponic system with brackish water. *Horticultura Brasileira* 36:13-19.
- Martínez M. P. L. y T. Rendón. 1983. Reproducción del capital, reproducción de las unidades domésticas campesinas y diferenciación social. *In: El campesinado en México. Dos perspectivas de análisis.* K. de Appendini, M. Pepin-Lehalleur, T. Rendón y V. A. de Salles (eds.). El Colegio de México. México. D. F. pp:15-18.
- Lang C. 2006. The Huntsville depot and dennis watercress. *In: The Huntsville Historical Review.* Winter-spring 2006. J. P. Gray (ed.). The Huntsville-Madison County Historical Society. Alabama, USA. pp:35-50.

- Rehman K.; Z. R. Mashwani; M. A. Khan; Z. Ullah; y H. J. Chaudhary. 2015. An ethnobotanical perspective of traditional medicinal plants from the Khattak tribe of Chonthra Karak, Pakistan. *Journal of Ethnopharmacology* 165:251–259.
- Salazar-Moreno R.; A. Rojano-Aguilar; y I. L. López-Cruz. 2014. La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y Ciencias del Agua* 5:177-183.
- Schuchardt J. P.; A. Hahn; T. Greupner; P. Wasserfurth; M. Rosales-López; J. Hornbacher; y J. Papenbrock. 2019. Watercress – cultivation methods and health effects. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 92:232–239.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2019. Información datos abiertos. Ciudad de México. [En línea]
<http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
Fecha de acceso: 20-Marzo-2019.
- Siew Y. Y.; S. Zareisedehizadeh; W. G. Seetoh; S. Y. Neo; C. H. Tan; y H. L. Koh. 2014. Ethnobotanical survey of usage of fresh medicinal plants in Singapore. *Journal of Ethnopharmacology* 155:1450–1466.
- Suroowan S. y M. F. Mahomoodally. 2016. A comparative ethnopharmacological analysis of traditional medicine used against respiratory tract diseases in Mauritius. *Journal of Ethnopharmacology* 177:61–80.
- United States Department of Agriculture (USDA). 2018. Información nutrimental del berro. <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list> (Agosto 2018).
- Wisconsin Department of Natural Resources (WDNR). 2009. Aquatic invasive species Literature.Review. [En línea].
<https://dnr.wi.gov/topic/Invasives/documents/classification/Nasturtium%20officinale.pdf>
f
Fecha de acceso: 18-Agosto-2019.
- Zárate A. A. M. 2014. Manual de hidroponía. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal. México. 40 p.

CAPÍTULO 3

COMPOSICIÓN MINERAL DEL BERRO (*Nasturtium officinale* R. Br.) Y AGUA COLECTADOS EN CUATRO SITIOS DE PRODUCCIÓN EN CUAUTLA, MORELOS, MÉXICO

3.1 RESUMEN

El río Cuautla es una fuente hídrica de importancia para la agricultura regional, enriquecido por manantiales que desembocan en su cauce, donde se han establecido plantaciones de berro (*Nasturtium officinale* R. Br.), la contaminación de esta fuente de agua por su uso con fines industriales, como sitio de descarga de aguas residuales y por acumulación de plaguicidas ponen en riesgo la salud al consumir berro producido en la región. Por lo que el objetivo fue determinar la composición elemental del agua y berro producido en cuatro sitios de producción en Cuautla, Morelos y utilizar la información generada para el establecimiento de cultivo de berro en sistema hidropónico. Para este fin se realizaron tres muestreos durante el año 2019, en los meses febrero, mayo y septiembre, en cada sitio se midió temperatura, pH y conductividad eléctrica del agua y se colectaron muestras de agua y tallos de berro, las muestras se procesaron en laboratorio y se determinó su composición elemental con un microscopio electrónico de barrido y dispersión de rayos X. Los resultados muestran variación en la temperatura, conductividad eléctrica y pH del agua: y en la composición elemental se encontraron los elementos O, C, K, Cl, Ca, S, Mg, Cu Na, Pb, Si, Cd y Zn en distintas concentraciones. En el tejido vegetal se encontraron los elementos O, C, N, Br, K, Cl, Ca, S, Mg, P, Cu, Na, Pb, Si, Cd y Fe en hojas y tallos: sin embargo, se observó variación en la concentración entre sitios y a través del tiempo.

Palabras clave: muestreos, temperatura, composición elemental.

3.2 SUMMARY

The Cuautla River is an important source of water for regional agriculture, enriched by springs that flow into its channel, where watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.) Plantations have been established, water pollution due to its use for industrial purposes, As a wastewater discharge site and contamination with pesticides, they put health at risk when consuming watercress produced in the region. Therefore, the objective was to determine the elemental composition of the water and watercress produced in four production sites in Cuautla, Morelos and use the information generated for the establishment of watercress cultivation in a hydroponic system. For this purpose three samplings were carried out during the year 2019, in February, May and September, in each site the temperature, pH and electrical conductivity of the water were measured and samples of water and watercress stems were collected, the samples were processed in the laboratory and its elemental composition was determined with a scanning electron microscope and X-ray scattering. The results show variation in the temperature, electrical conductivity and pH of the water; and the elements O, C, K, Cl, Ca were found in the elemental composition. S, Mg, Cu Na, Pb, Si, Cd and Zn in different concentrations. In the plant tissue the elements O, C, N, Br, K, Cl, Ca, S, Mg, P, Cu, Na, Pb, Si, Cd and Fe were found in leaves and stems, however variation in the concentration between sites and over time.

Key words: Samplings, temperature, elemental composition

3.3 INTRODUCCIÓN

El río Cuautla se ubica en la zona centro-oriente del estado de Morelos, con una extensión territorial de 85.51 kilómetros (CEAGUA, 2017), recorre los municipios de Atlatlahucan, Tetela del volcán, Yecapixtla, Cuautla, Ayala, Tlaltizapán y Tlaquiltenango (Atlas de riesgos en el municipio de Cuautla, Morelos, 2011), El río Cuautla como principal abastecimiento para la producción agrícola es una fuente hídrica importante para la ciudad y municipios vecinos, este río se enriquece con agua de manantiales que desembocan en su cauce, en Cuautla se han establecido en estos manantiales y orillas del río plantaciones de berro, se reconocen dos zonas productoras una que comprende la ribera del río y los manantiales, Los Sabinos, San Cristóbal, La Mora, Ojitos de agua, Agua azul, y una segunda zona cercana a los manantiales Las Tazas y Santa Inés (Ávalos *et al.*, 2010).

El uso con fines industriales, como sitio de descarga de aguas residuales y la contaminación por aplicación de plaguicidas ponen en riesgo la salud al consumir berro (Ávalos *et al.*, 2010).

Durante abril de 1991 a marzo de 1992 Santiago-Fregoso y Sandoval-Manrique (2001) realizaron colectas de coleópteros acuáticos y muestras de agua en siete sitios del río Cuautla, los resultados obtenidos clasifican el agua de moderadamente contaminada a no contaminada en sitios muestreados cercanos a la zona berrera. Eguía-Lis *et al.* (2015) realizaron muestreos durante los años 2014 y 2015 en distintos puntos del río Cuautla, para determinar la calidad del agua, entre los resultados observaron concentraciones mayores a las permitidas por la NOM-127-SSA1-1994, en el contenido de nitrógeno amoniacal y nitratos, fósforo total, contenido de plomo y presencia de coliformes fecales. La planta de berro crece de forma habitual en el agua de donde obtiene los nutrientes para su desarrollo, se ha demostrado que el berro puede absorber y acumular otros elementos como el cromo, cobalto, cadmio, (Duman *et al.* 2009), plomo, arsénico y zinc (Gouden *et al.* 2016). La exposición a organismos presentes en el agua como los coliformes y otros parásitos como *Fasciola hepática* pueden convertir al berro en un foco de infección de enfermedades, Mailles *et al.*

(2006) reportan casos de fascioliasis, relacionadas con el consumo de vegetales crudos como berro, lechuga y diente de león.

En otros cuerpos de agua de México se han registrado alteraciones de la flora y fauna acuática, Rodríguez Aguilar *et al.* (2019) realizaron muestreos en 30 sitios del río Ayuquila-Armería, los resultados muestran presencia de distintas moléculas (herbicidas, insecticidas y fungicidas), acarreadas por escorrentía superficial, lo que incrementa las concentraciones en temporada de lluvias, En otro estudio efectuado en el río Zahuapan en el estado de Tlaxcala, se reportan concentraciones elevadas de nitrógeno amoniacal, sulfatos y coliformes fecales (Muñoz-Nava *et al.*, 2012).

Rivera-Vázquez *et al.* (2007) muestrearon zonas de descarga de los ríos San Bernardino, Chapingo y del río Texcoco, como resultados observaron contaminación con bacterias coliformes fecales y huevos de helminto.

Los problemas relacionados con la calidad del agua en México son similares a los observados en otros países: sin embargo, en el país no se ha dado la importancia al problema de la contaminación del agua y al impacto negativo generado en los ecosistemas, por lo que se realizaron tres muestreos en cuatro zonas de producción de berro, con el objetivo de determinar la composición mineral de agua y de la planta de berro producida en Cuautla, Morelos y utilizar la información generada para el establecimiento del cultivo de berro en sistema hidropónico bajo cubierta plástica.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Ubicación y método de muestreo

Se realizaron tres muestreos durante el transcurso del año 2019 en los meses de febrero, mayo y septiembre. Los muestreos se realizaron en cuatro predios de la zona productora de berro en el municipio de Cuautla, además se muestreo el berro producido en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UAEM y el agua utilizada para su producción. (Cuadro 1).

En cada sitio de muestreo se midió la temperatura, el pH y la conductividad eléctrica con un potenciómetro (Conductronic PC 18), se colecto agua de la entrada de la melga en frascos de plástico para tomar las lecturas.

Para el análisis en laboratorio se tomó en frascos de plástico 1 L de agua y se etiquetó para su identificación, para el muestreo de plantas de berro se seleccionaron 10 brotes de berro de 20 cm de longitud, se colocaron en bolsas plásticas con cierre hermético y se etiquetaron para su identificación. Las muestras se conservaron en una hielera hasta su traslado al laboratorio del Centro de Investigaciones Químicas (CIQ) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), donde se procesaron para su análisis elemental.

Cuadro 1. Localización de muestreos de agua realizados en la zona berrera del municipio de Cuautla Morelos y agua de riego de la UAEM.

Nombre de la muestra	Lugar de muestreo	Localización
Sabino	Manantial La Mora (Ejido Cuautlixco)	N 18°49'39.7", O 98°56'26.2"
La Mora	Manantial La Mora (Ejido Cuautlixco)	N 18°49'40.7", O 98°56'25.4"
Amate	Manantial La Mora (Ejido Cuautlixco)	N 18°49'38.0", O 98°56'26.8"
Río Cuautla	Río Cuautla (Ejido Cuautla)	N 18°49'28.9", O 98°56'36.9"

UAEM	Campo experimental de Ciencias Agropecuarias (Cuernavaca)	N 18°58' 51", O99°13' 57"
------	--	---------------------------

3.4.2 Procesamiento de las muestras de agua

Para el análisis se concentró agua de cada muestra, para esto se colocaron en cajas Petri de 35 mm círculos de papel filtro (Whatman® 90 mm) de 0.5 mm de diámetro, después se agregaron 3 mL de agua del sitio de muestreo (Figura 1) y se dejaron evaporar a temperatura ambiente ($23\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1$) por cinco días, las cajas Petri se dejaron destapadas e inclinadas para favorecer la concentración de minerales en el papel filtro, además de las muestras se colocó un blanco que consistió en un círculo de papel filtro con 3 mL de agua destilada .

Cuando la muestra se evaporó por completo, se procedió a montarla en un porta muestras de aluminio, para esto se colocaron rectángulos de cinta de carbono y sobre ellos se colocó la muestra que consistió de un rectángulo recortado del papel filtro de cada muestra.



Figura 1 Colocacion de muestras de agua en cajas petri con papel filtro.

3.4.3 Procesamiento de las plantas de berro

Las muestras de berro se trasladaron al laboratorio del Centro de Investigaciones Químicas (CIQ) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) donde se procesaron de la siguiente forma:

La muestra se dividió en tallos y hojas, se calentó en baño maría por un minuto a 80 °C (Figura 2A), después de esto la muestra se colocó en toallas absorbentes para quitar el exceso de humedad y se dejó secar por tres días a temperatura ambiente (23 °C±1) (Figura 2B). Cuando la muestra se secó por completo se molió en un mortero hasta obtener un polvo fino. Para el análisis elemental se tomó un poco de polvo con pinzas de disección y se impregnó en la cinta de carbono adherida al portamuestras de aluminio (Figura 2D).



Figura 2. Procesamiento de plantas de berro para análisis nutricional, A) Muestra en Baño maría, B) Secado de la muestra, C) Macerado y D) Fijación de fibras en el portamuestras.

3.4.4 Análisis de las muestras

Las muestras se analizaron en el Centro de Investigaciones en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAp), con un microscopio electrónico de barrido y dispersión de rayos X (Scanning Electron Microscope SU5000, marca Hitachi). Se tomaron tres lecturas una en el centro y en cada extremo de las fibras.

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1 Variables medidas en campo, temperatura, conductividad eléctrica y pH

La temperatura presentó una variación a lo largo del año de muestreo con valores de 20.3 a 25.3 °C. La temperatura más baja se registró en el mes de septiembre en el sitio de muestreo Sabino, mientras que la temperatura más alta se registró en el mes de febrero en el sitio de muestreo La Mora.

La temperatura fue similar en los muestreos realizados en los meses de febrero y mayo con temperaturas entre 24 y 25.3 °C mientras que la temperatura en el mes de septiembre fue menor con 19.6 a 21.1 °C (Figura 3).

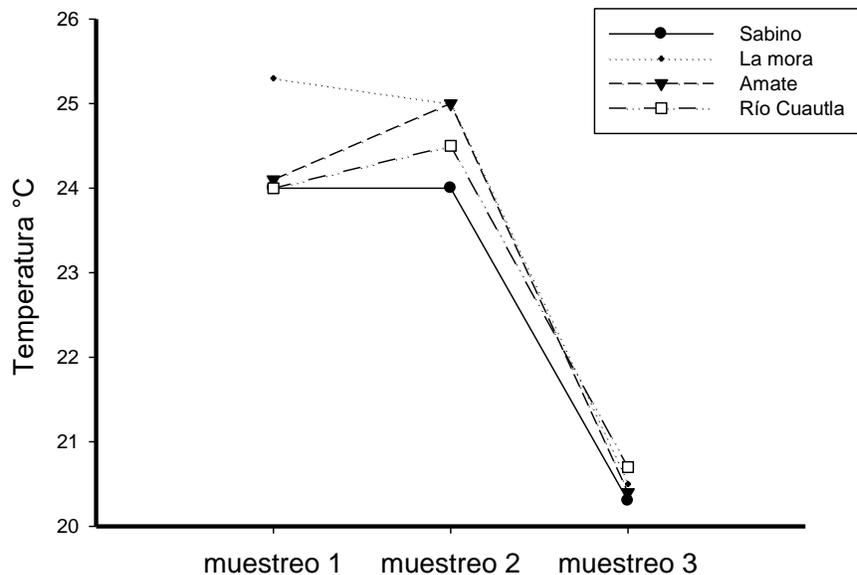


Figura 3. Grafica de temperatura del agua de riego de cuatro sitios de siembra de berro.

La conductividad eléctrica del agua fue mayor durante los meses de febrero y mayo, con registros de 0.40 a 0.58 ms cm^{-1} , mientras que durante septiembre la conductividad eléctrica fue menor con registros de 0.31 a 0.38 ms cm^{-1} .

La conductividad fue similar en los cuatro puntos de muestreo en el mes de febrero con valores de 0.40 a 0.45 ms cm^{-1} , en el mes de mayo se observó un incremento de

la conductividad con valores de 0.48 a 0.58 ms cm⁻¹, en el mes de septiembre la conductividad fue menor que en los meses anteriores con valores de 0.31 a 0.38 ms cm⁻¹ (Figura 4).

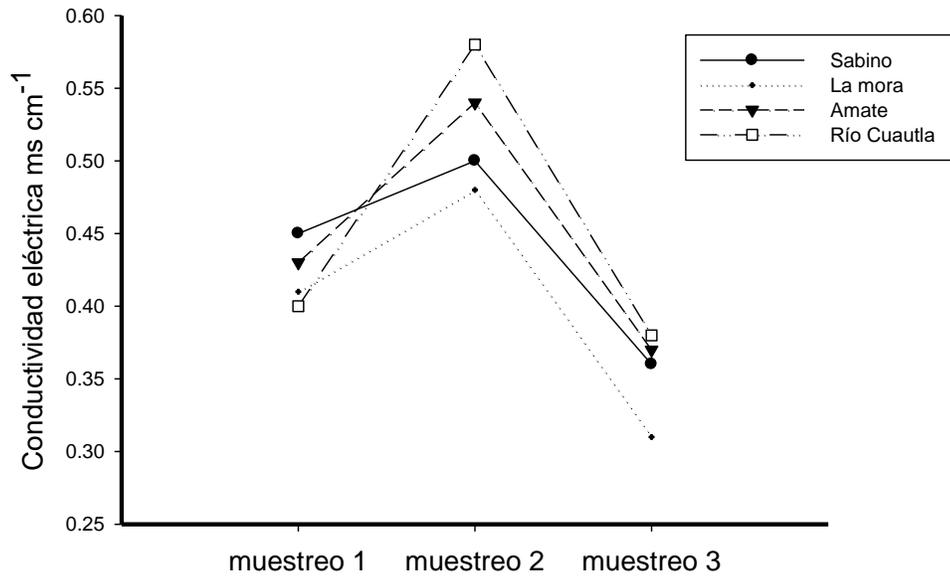


Figura 4. Grafica de conductividad eléctrica del agua de riego de cuatro sitios de siembra de berro.

El pH de los cuatro sitios fue la variable que presentó valores más heterogéneos a lo largo del año de muestreo, durante los meses de febrero y mayo se registraron valores de pH de 7.4 a 8.8 entre sitios de muestreo, durante septiembre los valores disminuyeron ligeramente y la diferencia entre sitios de muestreo fue menor con valores de 6.30 a 7.38 (Figura 5). De acuerdo con la Comisión nacional del agua, (2019) los valores reportados para las variables temperatura y pH del agua son aptas para uso agrícola, de igual forma los valores de conductividad eléctrica cumplen con este criterio (De la Mora *et al.* 2013). En otros estados de la república se han realizado estudios de distintos cuerpos de agua. Benavides *et al.* (2008), realizaron un estudio en las principales lagunas del estado de Chihuahua con valores similares en las variables medidas en esta investigación, Medina *et al.* (2016), reportan valores de pH de 6.9 a 8.4 y conductividad eléctrica de 0.220 a 1.750 ms cm⁻¹ en agua de pozos profundos, norias y ríos del municipio de Tuxcacuesco y señalan su buena calidad y utilidad para la agricultura.

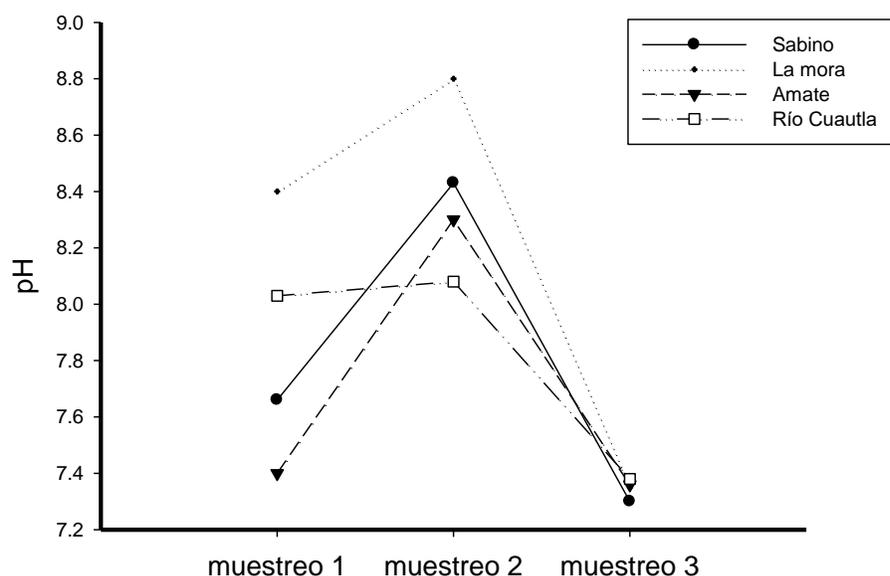


Figura 5. Grafica de pH del agua de riego de cuatro sitios de siembra de berro.

3.5.2 Análisis de muestras de agua

El análisis de las muestras de agua colectadas durante el año 2019, indica que en conjunto los elementos oxígeno (O) y carbono (C) en porcentajes de 97.28 a 99.21 % en todos los sitios de muestreo.

El análisis de las muestras de agua en el sitio Sabino mostró la presencia de los elementos Cl, Ca, S, Mg, Cu, Na, Pb, Si y Cd (Cuadro 2).

Los elementos Ca, Mg y Si se encontraron en los tres muestreos, el Ca se encontró de un 0.16 a 0.94 %, el Mg de 0.16 a 0.47 % y el Si de 0.23 a 0.46 %.

Los elementos Cl, S y Na solo se encontraron en el muestreo de febrero con porcentajes de 0.53, 0.04 y 0.60 %. El Cu, se encontró en los meses de mayo y septiembre con un 0.07 y 0.23 %. Los metales Pb y Cd solo se encontraron en el mes de septiembre con porcentajes menores a 0.01 %.

El muestreo del sitio La Mora presentó menor número de elementos, se encontró Ca en los tres muestreos con porcentajes de 0.01 a 0.29 %. El Mg solo se encontró en mayo con un porcentaje de 0.03 %. El Cu y Si se encontraron en mayo y septiembre con un 0.07 y 0.38 % para el Cu y para Si de 0.10 a 0.19 %.

Los metales Pb y Cd se encontraron solo en septiembre con porcentajes menores a 0.01 %.

El muestreo del sitio Amate presentó mayor número de elementos (Cuadro 2), el K solo se encontró en febrero en un 0.03 %. El Cl se encontró en febrero y septiembre con porcentajes de 0.05 y 0.03 %. El Ca, Mg, Si y Cd se encontraron en los tres muestreos, el Ca tuvo presencia de 0.08 a 0.48 %, el Mg de 0.1 a 0.7 %, el Si de 0.24 a 0.84 %, y el Cd presento porcentajes menores a 0.01 %. El S se encontró en los meses de febrero y septiembre en un 0.5 %. El Cu, Na y Pb se encontraron en dos muestreos, el Cu en los meses de mayo y septiembre con porcentajes de 0.07 a 0.1 %, el Na y el Pb en los meses de febrero y septiembre con un 0.36 y 0.03 %, mientras que el Pb con un 0.003 y 0.02 %. El Zn se encontró solo en el muestreo de septiembre con un 0.07%.

En las muestras tomadas del sitio Río Cuautla (Cuadro 2) se detectó la presencia de Ca, Mg Si y Pb en los tres muestreos, con 0.33 a 0.48 % de Ca, 0.28 a 0.77 % de Mg, 0.30 a 0.45 % de Si y 0.003 a 0.01 % de Pb.

El Cl y S se encontraron en febrero y mayo con un 0.05 y 0.006 % y 0.05 y 0.03 %. El Cu se encontró en mayo y septiembre con 0.05 y 0.14%, y el Cd durante febrero y septiembre con 0.006 y 0.003 %. Los elementos K y Na solo se encontraron en febrero con 0. 03 y 0.36 %.

En las muestras de agua de la UAEM (Cuadro 2) se encontraron los elementos K, Cl, Mg, Cu Pb, Si y Cd en los muestreos de mayo y septiembre. El K se encontró en porcentajes de 0.06 y 0.12 %, el Cl en un 0.04 y 0.15 %, el Mg en un 0.33 y 0.9 % el Cu en un 0.34 y 0.37 %, el Pb en un 0.003 y 0.02 %, el Si en un 0.79 y 1.36 % y el Cd en un 0.01 y 0.03 %. Los elementos Ca y Na solo se encontraron en el mes de mayo en un 0.2 y 0.01 %.

Los resultados obtenidos en esta investigación mostraron presencia de O, K, Cl, Ca, S, Mg, Cu, Na, Si, Pb y Cd en distintos porcentajes, sin embargo, el análisis no registró presencia de N y P el muestreo pudo influir en la ausencia de estos elementos ya que este se realizó en plantaciones de berro permitidos por ASURCO los que se ubican antes de la zona urbana de Cuautla, López García *et al.* (2016) apuntan que el agua residual generada en zonas urbano-industriales, presenta mayor cantidad de sodio en

contraste con bajas concentraciones de calcio y magnesio y un pH alcalino, los resultados obtenidos en esta investigación muestran mayor porcentaje de calcio y magnesio, con variación entre sitios y tiempo de muestreo y menor porcentaje de sodio y un pH alcalino. El agua de lluvia es otro factor que influye en la concentración de algunos elementos, la calidad de esta dependerá de diversos componentes presentes en el aire, las actividades humanas desarrolladas en la zona y condiciones naturales (Ospina-Zúñiga y Ramírez-Arcila, 2014), en casos documentados se han observado cambios en el pH del agua, como lo reportan Lara *et al.* (2001), quienes concluyen que la acidificación del agua del río Piracicaba es causada por la acidez del agua de lluvia y la deposición de altos contenidos de N, resultado de labores culturales realizadas en el cultivo de caña de azúcar en zonas cercanas al río y emisiones industriales. Un reporte de lluvia colectada en la ciudad de Toluca, estado de México, indica la influencia de la actividad humana en la calidad del agua de lluvia, el pH medido fue en promedio de 5.25, la composición obtenida mostró presencia de los iones S, Na, K, Mg, Ca, V, Mn, Fe, Al y Cl, los autores indican que condiciones ambientales como la presión atmosférica, temperatura, humedad, radiación solar, influyen en la presencia de estos elementos disueltos en el agua (Iturbide *et al.* 1999). En contraste El pH del agua en la zona productora de berro fue neutro-alcalino y no se encontró al elemento N, lo que indica que la calidad del agua no ha sido afectada por el agua de lluvia. Otras variables que indican la mala calidad del agua son la concentración elevada de sulfatos, nitrógeno amoniacal, cloro residual, Fe, Pb, Mn, demanda química y bioquímica de oxígeno, disminución del oxígeno disuelto (Montelongo *et al.* 2008) y concentración elevada de coliformes fecales (Muñoz-Nava *et al.* 2012).

Existen pocos trabajos que documentan la calidad del agua del río Cuautla, en 1991-1992 Santiago-Fragoso y Sandoval-Manrique (2001) realizaron muestreos del agua del río Cuautla en distintos sitios, los parámetros medidos influyeron en la clasificación de la calidad del agua. En muestreo en sitios cercanos a la zona de producción de berro, el agua fue clasificada como no contaminada (Los sabinos y San José sitios con condiciones fisicoquímicas óptimas para la vida acuática) mientras que en las zonas con mayor actividad urbana e industrial se clasificó como moderadamente contaminada y contaminada, los autores apuntan que la temporada de lluvias mejora

las condiciones fisicoquímicas y biológicas del río depurando zonas contaminadas. Eguía-Lis *et al.* (2015) en su estudio sobre la calidad del agua del Río Cuautla muestra mayores perturbaciones en el agua en sitios cercanos a la Ciudad de Cuautla Morelos, sin embargo el agua es clasificada como aceptable a excelente, con presencia de metales en límites permisibles, la concentración de oxígeno disuelto, sulfuros y fósforo total, superan los criterios para su uso como fuente de abastecimiento (FA), riego agrícola (RA) y protección de vida acuática (PVA), la concentración de nitrógeno amoniacal y nitratos es superior en estaciones cercanas a la zona urbana de Cuautla, en sitios cercanos a la zona de producción de berro el agua se clasifica como aceptable a excelente para los criterios: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Solubles Totales (SST), De acuerdo con el SINA (2021) el río Cuautla presenta calidad aceptable para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y para coliformes fecales (CF) y buena calidad para el caso de Sólidos Suspendidos Totales (SST).

La contaminación del agua con elementos como el Cu, Cd, Pb, Zn puede darse de forma natural por características geológicas del terreno (Blanco *et al.* 1998), por actividades agrícolas e industriales (Mancilla-Villa *et al.* 2011) por aguas residuales generadas en zonas urbanas (Lima *et al.* 2005). los elementos Cu, Pb y Cd fueron encontrados en todas las zonas de muestreo, sin embargo, no en todos los meses de muestreo se encontraron los elementos, el Cu se encontró en los meses de mayo y septiembre en todos los sitios de muestreo, el Pb se encontró durante los tres muestreos solo en el Río Cuautla, en el sitio Amate se encontró al elemento en los meses de febrero y septiembre y en los sitios Sabino y La mora solo en el mes de septiembre se encontró a este elemento. El Cd se encontró en el sitio Amate en los tres muestreos, en el río Cuautla se encontró en los meses de febrero y septiembre, mientras que en los sitios Sabino y La mora solo se encontró en el mes de septiembre, el sitio UAEM mostró presencia de los tres elementos en los meses de mayo y septiembre, el Zinc solo se encontró en el sitio Amate en el mes de septiembre.

El origen de estos metales pudo darse por la actividad agrícola desarrollada en la zona, por procesos naturales, solo en el sitio río Cuautla, se observó mayor presencia de

estos elementos, por la actividad industrial desarrollada en municipios que anteceden al municipio de Cuautla.

Cuadro 2. Porcentaje de elementos encontrados en agua de cuatro sitios de producción de berro en Cuautla y agua de riego de la UAEM

Elementos (%)		Potasio	Cloro	Calcio	Azufre	Magnesio	Cobre	Sodio	Plomo	Silicio	Cadmio	Zinc
Lugar y fecha de muestreo		(K)	(Cl)	(Ca)	(S)	(Mg)	(Cu)	(Na)	(Pb)	(Si)	(Cd)	(Zn)
Sabino	Feb.	0	0.053	0.16	0.046	0.47	0	0.603	0	0.253	0	0
	May.	0	0	0.58	0	0.16	0.076	0	0	0.23	0	0
	Sep.	0	0	0.94	0	0.17	0.23	0	0.006	0.46	0.003	0
La mora	Feb.	0	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0
	May.	0	0	0.14	0	0.03	0.07	0	0	0.10	0	0
	Sep.	0	0	0.29	0	0	0.38	0	0.003	0.19	0.006	0
Amate	Feb.	0.033	0.05	0.48	0.05	0.77	0	0.36	0.003	0.35	0.006	0
	May.	0	0	0.083	0	0.14	0.07	0	0	0.24	0.003	0
	Sep.	0	0.03	0.41	0.053	0.45	0.18	0.03	0.02	0.84	0.006	0.07
Río	Feb.	0.03	0.05	0.48	0.05	0.77	0	0.36	0.003	0.35	0.006	0
Cuautla	May.	0	0.006	0.33	0.03	0.28	0.05	0	0.003	0.30	0	0
	Sep.	0	0	0.47	0	0.28	0.14	0	0.01	0.45	0.003	0
UAEM	Feb.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	May.	0.06	0.04	0.2	0.12	0.33	0.34	0.01	0.003	0	0.013	0
	Sep.	0.12	0.15	0	0	0.09	0.37	0	0.003	0	0.003	0

Los resultados son el promedio de tres disparos realizados en el papel filtro. Feb: Febrero, May: Mayo, Sep: Septiembre.

3.5.3 Análisis elemental de hojas y tallos de berro

El análisis de las fibras de hojas y tallos de berro de las muestras colectadas durante el año 2019, muestran presencia conjunta de los elementos oxígeno (O) y carbono (C) en porcentajes de 92.94 a 96.94 % en hojas y de 91.25 a 95.55 % en tallos, el resto del porcentaje lo conforman los elementos potasio (K), fósforo (P) azufre (S), calcio (Ca), magnesio (Mg), bromo (Br), cloro (Cl), cobre (Cu), y en algunas muestras sodio (Na), hierro (Fe), plomo (Pb), silicio (Si) y cadmio (Cd).

Las fibras de hojas y tallos de berro tomadas en el sitio Sabino mostraron la siguiente composición elemental (Cuadro 3, 4, 5 y 6).

El K se encontró en porcentajes de 0.9 a 3 % en tallos y en porcentajes menores a 1.3 % en hojas, los elementos Ca, Mg, P y Cu se encontraron en porcentajes de 0.09 a 0.58 % en tallos y en hojas de 0.1 a 1.2 %. Los elementos S, Mg, Na y Si se encontraron en porcentajes menores a 0.6 % y mayores a 0.02 %. Los elementos Pb y Cd se encontraron en porcentaje de 0.006 a 0.02 % en tallos y en hojas de 0.003 a 0.04 %.

El análisis de las fibras de hojas y tallos de berro tomadas en el sitio La mora mostraron la siguiente composición elemental (Cuadro 3, 4, 5 y 6).

El K se encontró de 1.3 a 1.6 % en tallos y de 0.7 a 0.9 % en hojas, el Ca se encontró en un 0.2 a 0.4 % en tallos y 0.4 a 0.8 % en hojas. El S se encontró en porcentajes similares entre 0.1 a 0.7 % en tallos y hojas. El Mg se encontró en porcentajes de 0.1 a 0.5 %. El P se encontró en porcentajes similares de 0.2 a 0.3 % solo en el muestreo de febrero en tallos no se registró presencia. El Cu se encontró en porcentajes similares de 0.1 a 0.2 %, solo en el tercer muestreo de hojas el porcentaje fue de 0.5 %. Los metales Pb y Cd se encontraron en porcentajes bajos de 0.003 a 0.03 %.

El análisis de las fibras de hojas y tallos de berro tomadas en el sitio Amate mostraron la siguiente composición elemental (Cuadro 3, 4, 5 y 6).

El K incrementó del primero al último muestreo de 1.7 a 2.4 % en tallos, en las hojas el porcentaje fue de 1.07 % en febrero, con un menor porcentaje en mayo y un incremento en el mes de septiembre a 1.7 %. El Ca se encontró en mayor porcentaje en las hojas con valores de 0.4 a 0.9 %, mientras que en tallos los porcentajes fueron de 0.2 a 0.8 %, el S se encontró en mayor porcentaje en hojas de 0.5 a 0.9 % mientras que en tallos se encontró de 0.3 a 0.5 % el Mg y P se encontraron en valores similares

en todos los muestreo con porcentajes de 0.1 a 0.4 %. Los metales Pb y Cd se encontraron en porcentajes menores a 0.01 % en todos los casos.

El análisis de las fibras de hojas y tallos de berro tomadas en el sitio Río Cuautla mostraron la siguiente composición elemental (Cuadro 3, 4, 5 y 6).

El K se encontró en mayor porcentaje en tallos, los porcentajes fueron de 0.5 a 1.8 %. Los elementos Ca, Mg y P se encontraron en porcentajes similares en ambos tejidos con un 0.1 a 0.4 %. Los metales Pb y Cd solo se encontraron en hojas del muestreo de mayo en porcentajes de 0.03 % y 0.01 %.

El análisis de las fibras de hojas y tallos de berro tomadas en el sitio UAEM mostraron la siguiente composición elemental (Cuadro 3, 4, 5 y 6).

El K se encontró en porcentaje similar con un 1.2 a 2.4 % solo en el muestreo de hojas del mes de febrero se encontró una menor presencia del elemento con un 0.5 %. El Ca se encontró en mayor porcentaje en mayo para ambos tejidos con valores de 1.0 a 1.7 % en febrero y septiembre los porcentajes fueron de 0.4 a 0.8 %. El S se encontró en porcentaje similar, solo el muestreo de septiembre mostró mayor presencia con un 1.3 %. El Mg se encontró en los muestreos de mayo y septiembre con porcentajes mayores en tallos de 0.1 a 0.2 %, en hojas se obtuvieron porcentajes de 0.05 a 0.09 %.

El P se encontró en mayor porcentaje en hojas con un 0.3 a 0.8 %, en tallos el porcentaje fue de 0.1 a 0.3 %. El Cu se encontró en porcentaje de 0.1 a 0.3 %, solo el tercer muestreo de hojas fue mayor con un 0.6 %. Los metales Pb y Cd se encontraron en porcentajes 0.003 a 0.03 %.

En ecosistemas acuáticos el crecimiento de la vegetación depende de dos factores principales los nutrientes y la luz, los nutrimentos que más influyen en el crecimiento son el carbono, nitrógeno y fósforo (Acosta- Arce y Agüero-Alvarado 2006). La composición elemental del berro muestra presencia de los macronutrientes N, P, K, Ca, Mg y S, micronutrientes Cl, Cu, Fe, Si y otros elementos como el Na, Br, Pb y Cd a distintos porcentajes. Kirby (2012) considera 14 elementos como esenciales para la mayoría de las plantas, Mengel y Kirby (2001) los clasifican en cuatro grupos por sus funciones dentro de la planta, como constitutiva de material orgánico y participación en procesos enzimáticos (C, H, O, N, y S) como esterificantes de grupos alcoholes o

involucrados en reacciones de transferencia de energía (P, B, Si), funciones no específicas que establecen el potencial osmótico, activadores de enzimas, controladores de la permeabilidad de la membrana (K, Na, Ca, Mg, Mn y Cl), en forma de quelatos como grupos prostéticos de enzimas (Fe, Cu, Zn y Mo). Kawashima y Valente Solares (2003) reportan el aporte mineral en mg por cada 100 gramos de berro crudo de 271 ± 54 mg de K, 14 ± 4 mg de Na, 127 ± 24 mg de Ca, 30 ± 5 mg de Mg, 0.9 ± 0.2 mg de Fe, 0.2 ± 0.1 mg de Mn, 0.2 ± 0.1 mg de Cu y 0.8 ± 0.4 mg de Zn. Tardío *et al.* (2016) reportan que 100 g de berro fresco aportan 276 mg de K, 12 mg de Na, 175 mg de Ca, 24.5 mg de Mg, 58 mg de P, 1.65 mg de Fe y 0.09 mg de Zn. La composición y el contenido de minerales es similar en los dos reportes solo los elementos P y Cu son reportados en una u otra publicación, Kawashima y Valente-Soares (2003) argumentan que algunos factores que causan variación en el contenido mineral de un cultivo son: la ubicación, prácticas agrícolas, lluvias y la calidad del agua de riego, al respecto Kisten *et al.* (2015) apuntan que las plantas de berro translocan elementos de acuerdo a sus necesidades metabólicas para prevenir fitotoxicidades o deficiencias. De Souza *et al.* (2011) determinaron la composición mineral de berro colectado en cuatro ciudades de Bahía Brasil durante dos periodos de verano e invierno, los resultados mostraron presencia de Fe, Mn, Cu, Zn, Ca y Mg, sin embargo, se observó un mayor contenido de los elementos durante el verano, los autores señalan que los resultados obtenidos fueron similares a los reportados en la literatura y que el contenido de elementos en las plantas de berro es influenciado por la temporada. Al-Qahtani *et al.* (2020) apuntan que la composición química de aceites esenciales y el contenido de minerales de *Zilla spinosa* se ve afectada por la variación espacial y estacional, entre los factores medidos por los autores se encuentran, el pH, la conductividad eléctrica, humedad relativa y textura del suelo donde se colectaron las plantas. Waraich *et al.* (2012) señalan que la temperatura es un factor ambiental importante que afecta la morfología, anatomía, fenología y bioquímica de las plantas. En ecosistemas acuáticos la temperatura, la luz, el movimiento y contenido de nutrientes del agua, son factores que afectan la vida de las plantas su dispersión y su dinámica en la comunidad vegetal (Bornette y Puijalon, 2011).

En cuanto la obtención de la composición mineral del agua y el tejido vegetal de berro en esta investigación se obtuvieron solo la presencia o ausencia de los elementos en porcentaje, un trabajo similar fue desarrollado por Raya y Aguirre (2009), el objetivo de su trabajo fue caracterizar mediante la composición elemental familias y géneros de plantas acumuladoras de silicio, para esto evaluaron la composición elemental de 5 plantas silvestres mediante microanálisis de sonda dispersiva de rayos X. Los resultados reportados muestran un valor superior al 95% para el conjunto de elementos, C y O, otros elementos detectados fueron N, P, K, Ca, Mg, S, Cl, Al, Si y Na, entre sus aportes los autores señalan la validez del uso de la sonda de rayos X para conocer la composición elemental de material biológico, por lo que se sugiere el uso de esta técnica como un análisis previo al uso de técnicas de medición de elementos convencionales.

Cuadro 3. Porcentaje de elementos encontrados en hojas de berro colectado en cuatro sitios de producción en Cuautla y berro producido en la UAEM.

Elementos (%)		Oxígeno	Carbono	Nitrógeno	Bromo	Potasio	Cloro	Calcio	Azufre
Lugar y fecha de muestreo		(O)	(C)	(N)	(Br)	(K)	(Cl)	(Ca)	(S)
Sabino	Feb.	27.91	66.98	0	1.82	0.89	0.27	0.71	0.62
	May.	35.73	59.73	0	1.5	0.76	0.15	0.64	0.52
	Sep.	37.41	56.65	0	2.41	1.2	0	0.58	0.01
La mora	Feb.	34.74	60.55	0	0.99	0.78	0.30	0.85	0.64
	May.	32.29	62.11	0	2.47	0.71	0.12	0.55	0.57
	Sep.	37.01	59.8	0	0	0.97	0	0.41	0.74
Amate	Feb.	38.53	56.69	0	0	1.07	0.38	0.99	0.72
	May.	29.79	64.35	0	1.18	0.76	0.25	0.46	0.51
	Sep.	41.81	53.64	0	0	1.79	0	0.95	0.99
Río Cuautla	Feb.	-	-	-	-	-	-	-	-
	May.	37.40	56.99	0	1.16	1.05	0.16	0.53	0.31
	Sep.	35.18	63.31	0	0	0	0	0.41	0.15
UAEM	Feb.	34.30	61.25	0	2.35	0.53	0	0.45	0.48
	May.	34.50	55.09	2.04	2.23	1.54	0.13	1.75	0.16
	Sep.	37.15	56.53	0	1.23	1.64	0	0.84	1.34

Los resultados son el promedio de tres disparos realizados en el papel filtro. Feb: Febrero, May: Mayo, Sep: Septiembre.

Cuadro 4. Porcentaje de elementos encontrados en hojas de berro colectado en cuatro sitios de producción en Cuautla y berro producido en la UAEM (Continuación).

Elementos (%)		Magnesio	Fósforo	Cobre	Sodio	Plomo	Silicio	Cadmio	Hierro
Lugar y fecha de muestreo		(Mg)	(P)	(Cu)	(Na)	(Pb)	(Si)	(Cd)	(Fe)
Sabino	Feb.	0.25	0.22	0.176	0	0.013	0.06	0.026	0.53
	May.	0.32	0.32	0.27	0	0.006	0.06	0.003	0
	Sep.	0.13	0.27	0.29	0	0.02	0	0.01	0
La mora	Feb.	0.53	0.27	0.12	0	0.01	0.16	0.03	0
	May.	0.37	0.35	0.26	0.013	0.01	0.09	0.006	0
	Sep.	0.176	0.23	0.53	0.003	0.03	0.07	0.02	0
Amate	Feb.	0.81	0.43	0.11	0.06	0.006	0.17	0	0
	May.	0.27	0.25	0.21	0	0.0033	0	0.003	0
	Sep.	0.33	0.21	0.23	0	0.01	0	0.006	0
Río Cuautla	Feb.	-	-	-	-	-	-	-	-
	May.	0.25	0.16	0.14	0	0.03	1.75	0.01	0
	Sep.	0.09	0	0.30	0	0.01	0	0.003	0
UAEM	Feb.	0	0.08	0.13	0	0.01	0.33	0.05	0
	May.	0.09	0.38	0.14	0	0.04	1.81	0.05	0
	Sep.	0.05	0.36	0.69	0	0.03	0.09	0.01	0

Los resultados son el promedio de tres disparos realizados a las fibras de hojas de berro. Feb: Febrero, May: Mayo, Sep: Septiembre.

Cuadro 5. Porcentaje de elementos encontrados en tallos de berro de cuatro sitios de producción en Cuautla y berro producido en la UAEM.

Elementos (%)		Oxígeno	Carbono	Nitrógeno	Bromo	Potasio	Cloro	Calcio	Azufre
Lugar y fecha de muestreo		(O)	(Ca)	(N)	(Br)	(K)	(Cl)	(Ca)	(S)
Sabino	Feb.	42.59	46.63	2.25	2.97	3.01	0.65	0.58	0.39
	May.	39.37	58.48	0	0	0.99	0.22	0.22	0.26
	Sep.	36.16	50.56	8.59	1.31	1.33	0.24	0.36	0.56
La mora	Feb.	43.34	52.10	0	1.60	1.60	0.32	0.41	0.16
	May.	38.63	57.95	1.73	0	1.45	0.44	0.21	0.30
	Sep.	39.89	53.89	2.98	0	1.3	0.15	0.46	0.63
Amate	Feb.	39.18	54.97	0	1.67	1.71	0.60	0.50	0.38
	May.	35.34	58.68	2.04	0	1.77	0.51	0.25	0.50
	Sep.	43.16	52.22	0	0	2.43	0.20	0.83	0.43
Río Cuautla	Feb.	-	-	-	-	-	-	-	-
	May.	43.01	52.54	0	0.9	1.42	0.51	0.68	0.16
	Sep.	43.35	52.21	0	0	1.88	0.42	0.53	0.58
UAEM	Feb.	34.34	58.68	0	3.79	1.29	0.05	0.64	0.55
	May.	31.61	60.46	0	2.71	2.46	0.32	1.07	0.55
	Sep.	42.98	52.40	0	0	2.42	0.20	0.85	0.41

Los resultados son el promedio de tres disparos realizados a las fibras de tallo de berro. Feb: Febrero, May: Mayo, Sep: Septiembre.

Cuadro 6. Porcentaje de elementos encontrados en tallos de berro de cuatro sitios de producción en Cuautla y berro producido en la UAEM.

Elementos (%)		Magnesio	Fosforo	Cobre	Sodio	Plomo	Silicio	Cadmio	Hierro
Lugar y fecha de muestreo		(Mg)	(P)	(Cu)	(Na)	(Pb)	(Si)	(Cd)	(Fe)
Sabino	Feb.	0.18	0.32	0.36	0.02	0.006	0	0	0
	May.	0.09	0.13	0.04	0.02	0.006	0	0	0
	Sep.	0.12	0.35	0.29	0	0.01	0.05	0.04	0
La mora	Feb.	0.23	0	0.26	0	0	0.02	0	0
	May.	0.17	0.21	0.19	0	0.003	0	0	0
	Sep.	0.15	0.27	0.22	0	0.01	0	0.003	0
Amate	Feb.	0.27	0.22	0.28	0.08	0.01	0.13	0	0
	May.	0.19	0.31	0.33	0	0.01	0.02	0	0
	Sep.	0.22	0.16	0.23	0.04	0.006	0.02	0	0
Río Cuautla	Feb.	-	-	-	-	-	-	-	-
	May.	0.26	0.22	0.12	0.07	0.003	0	0	0
	Sep.	0.33	0.24	0.42	0	0.01	0	0	0
UAEM	Feb.	0	0.16	0.31	0	0.02	0.11	0.04	0
	May.	0.12	0.37	0.24	0	0.006	0.04	0.003	0
	Sep.	0.24	0.17	0.21	0.04	0.01	0.03	0	0

Los resultados son el promedio de tres disparos realizados a las fibras de tallo de berro. Feb: Febrero, May: Mayo, Sep: Septiembre.

3.6 CONCLUSIONES

Existen variaciones en la temperatura, conductividad eléctrica y pH del agua de los distintos puntos de muestreo, se observó una relación de las tres variables por su comportamiento similar a través del tiempo.

La composición elemental de los tallos y berros obtenida mediante la técnica de dispersión y rayos X fue similar a la reportada en la literatura, sin embargo, por la naturaleza de la técnica no se pudo cuantificar la masa de cada elemento encontrado, se sugiere el uso de esta técnica como un análisis previo para determinar qué elementos cuantificar mediante métodos convencionales.

El conocer la temperatura, conductividad eléctrica, pH y la composición elemental del agua utilizada en las plantaciones de berro así como la composición elemental de la planta permitirá iniciar estudios para la producción de berro en sistemas hidropónicos.

3.7. LITERATURA CITADA

- Acosta-Arce, L.; y R. Agüero-Alvarado. 2006. Malezas acuáticas como componentes del ecosistema. *Agronomía Mesoamericana* 17(2) 213-219.
- Al-Qahtani H.; A. H. Alfarhan; y Z. M. Al-Othman. 2020. Changes in chemical composition of *Zilla spinosa* Forssk. medicinal plants grown in Saudi Arabia in response to spatial and seasonal variations. *Saudi Journal of Biological Sciences* 27:2756-2769.
- Ávalos, G. C.; G. Aguilar-Sánchez y J. Palerm-Viqueira. 2010. Gestión técnica y social del uso del agua en Morelos: caso Río Cuautla. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. Estado de México. 342 p.
- Benavides, A.; M. Moreno; M. Sosa; S. Puga; J. Alcalá; y C. Quintan. 2008. Evaluación de la calidad del agua en las principales lagunas del estado de Chihuahua. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 4 (2):84.
- Blanco, H. A. L. D.; G. Alonso; O. Jiménez B.; M. Santiago G.; B. De Miguel M. 1998. Estudio de los niveles de plomo, cadmio, zinc y arsénico, en aguas de la provincia de Salamanca. *Rev. Esp. Salud Pública* 72:1.
- Bornette, G. y S. Puijalón. 2011. Response of aquatic plants to abiotic factors: a review. *Aquat Sci* 73:1–14.
- Comisión Estatal del Agua (CEAGUA). 2017. Estadísticas del agua en el estado de Morelos 2017. Morelos, México. 198 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2019. Ley federal de derechos disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales 2019. InDesign e Ilustrador CC. Ciudad de México 162 p.
- De la Mora, O. C.; L. H. E. Flores; y D. A. A. Chávez. 2013. Calidad del agua del embalse de la presa La vega y su impacto en las tierras agrícolas bajo riego. Prometeo editores S.A. de C. V. Guadalajara Jalisco. 163 p.
- De Souza, C. H.; A. M. P. Dos Santos; D. M. N. Fortunato; D. C. Lima; W. D. Frago; y S. L. C. Ferreira. 2011. Determination of the mineral composition of watercress and data evaluation using multivariate analysis. *Analytical Letters* 44:1758–1768.

- Duman, F.; Z. Leblebici; y A. Aksoy. 2009. Growth and bioaccumulation characteristics of watercress (*Nasturtium officinale* R. BR.) exposed to cadmium, cobalt and chromium. *Chemical speciation and bioavailability* 21:4.
- Eguía-Lis, P. A.; J. Izurieta-Dávila; M. Miganjos-Carro; y R. González-Villela. 2015. Indicadores de integridad ecológica y salud ambiental para las cuencas de los ríos Yautepec y Cuautla, Morelos. 1ra Etapa, Informe final. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 453 p.
- Gouden, D.; K. Kisten; R. Moodley; S. Shaik; y S. B. Jonnalagadda. 2016. Impact of spiked concentrations of Cd, Pb, As and Zn in growth medium on elemental uptake of *Nasturtium officinale* (Watercress). *Journal of Environmental Science and Health, part b.* 51:1.
- Iturbe-Garcia, J. L.; B. E. López-Muñoz; y J. De la Torre Orozco. 1999. Composición química, forma y tamaño de sólidos suspendidos en la atmósfera acarreados por el agua de lluvia. Departamento de Química, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.
- Kawashima, L. M.; y L. M. Valente-Soares. 2003. Mineral profile of raw and cooked leafy vegetables consumed in Southern Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis*, 16(5):605–611.
- Kirkby, E. 2012. Nutritional Physiology 1. Introduction, Definition and Classification of Nutrients. pp. 3-5. *In*: Marschner P. (ed) *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Elsevier, Amsterdam.
- Kisten, K.; D. Gouden; R. Moodley; y S. B. Jonnalagadda. 2015. Elemental distribution and uptake by watercress (*Nasturtium aquaticum*) as a function of water quality. *Journal of Environmental Science and Health, Part B* 50: 439–447.
- Lara, L. B. L.; P. Artaxo; L. Martinelli; R. Victoria; P. Camargo; A. Krusche; y M. Ballester. 2001. Chemical composition of rainwater and anthropogenic influences in the Piracicaba River Basin, Southeast Brazil. *Atmospheric Environment* 35(29): 4937.–4945.
- Lima, C. I.; S. Olivares-Rieumont; I. Columbie; D. Rosa M.; y R. Gil C. 2005. Niveles de plomo, zinc, cadmio y cobre en el río Almendares, ciudad Habana, Cuba. *Rev.Int. Contam.Ambient.* 21(3):115-124.

- López-García, A. D.; H. M. Ortega-Escobar; C. Ramírez-Ayala; E. I. Sánchez-Bernal; A. Can-Chulim; D. J. Gómez-Meléndez; y R. E. Vázquez-Alvarado. 2016. Caracterización fisicoquímica del agua residual urbano-industrial y su importancia en la agricultura. *Tecnología y Ciencias del Agua* 7(6):139-157.
- Mailles, A.; I. Capek; F. Ajana; C. Schepens; D. Illef; y V. Vaillant. 2006. Commercial watercress as an emerging source of fascioliasis in Northern France in 2002: results from an outbreak investigation. *Epidemiol. Infect* 134: 942–945.
- Mancilla-Villa, O. R.; H. M. Ortega-Escobar; C. Ramírez-Ayala; E. Uscanga-Mortera; R. Ramos-Bello; y A. L. Reyes-Ortigoza. 2012. Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. *Rev. Int. Contam. Ambie* 28(1):39-48.
- Medina, V. E. K.; V. O. R. Mancilla; L. M. Michel; G. R. D. Guevara; J. L. Olgún L.; y O. A. G. Barreto. Calidad del agua para riego y suelos agrícolas en Tuxcacuesco, Jalisco. *Idesia* 34:6.
- Mengel, K.; y E. A. Kirkby, 2001. *Principles of Plant Nutrition*. Kluwer Academic Publishers. 849 p.
- Montelongo, C.R.; M. J. A. Gordillo; S. E. M. Otazo; I. J. R. Villagómez; S. O. A. Acevedo; y G. F. Prieto. 2008. Modelación de la calidad del agua del río tula, Estado de Hidalgo, México *Dyna*, 75 (154): 5-18.
- Muñoz-Nava, H.; J. Suárez-Sánchez; A. Vera-Reyes; S. Orozco-Flores; J. Batlle-Sales; A. J. Ortiz-Zamora y J. Mendiola-Argüelles. 2012. Demanda bioquímica de oxígeno y población en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28 (1): 27-38.
- Ospina-Zúñiga, O. E.; y H. Ramírez-Arcila. 2014. Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima, Colombia. *Ingeniería Solidaria* 10(17):125-138.
- Raya, P J. C.; y C. L. M. Aguirre. 2009. Composición elemental de algunas especies de plantas silvestres mexicanas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(2): 95-99.
- Rivera-Vázquez, R.; O. L. Palacios-Vélez; M. J. Chávez; A. M. Belmont; I. Nikolski-Gavrilov; M. L. De la I. de Bauer; A. Guzmán-Quintero; L. Terrazas-Onofre; y

- R. Carrillo–Gonzalez. 2007. Contaminación por coliformes y helmintos en los ríos Texcoco, Chapingo y San Bernardino tributarios de la parte oriental de la Cuenca del Valle de México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 23 (2): 69-77.
- Rodríguez Aguilar, B. A., L. M. Martínez Rivera, A. A. Peregrina Lucano, C. I. Ortiz Arrona y O. G. Cárdenas Hernández. 2019. Análisis de residuos de plaguicidas en el agua superficial de la cuenca del río Ayuquila-Armería, México. *Terra Latinoamericana* 37: 151-161.
- Santiago-Fragoso S.; y J. C. Sandoval-Manrique. 2001. Coleópteros acuáticos y su relación con la dinámica fisicoquímica del Río Cuautla (Tramo Tetelcingo-Anenecuilco), Morelos, México. *Hidrobiológica* 11(1): 19-30.
- Sistema Nacional de información del Agua. 2021. Información de calidad del agua río Cuautla. [En línea].
<http://sina.conagua.gob.mx/sina/calidadAguaSub.php>
Fecha de acceso: 20-agosto-2021
- Tardío J.; M. C. Sánchez-Mata; R. Morales; M. Molina; P. García-Herrera; P. Morales; C. Díez-Marqués; V. Fernández-Ruiz; M. Cámara; M. Pardo-de-Santayana; M. C. Matallana-González; B. M. Ruiz-Rodríguez; D. Sánchez-Mata; M. E. Torija-Isasa; J. L. Guil-Guerrero; y N. Boussalah. 2016. Ethnobotanical and Food Composition Monographs of Selected Mediterranean Wild Edible Plants pp. 273-470. *In: Sánchez-Mata M. C.; y J. Tardío. (Eds). Mediterranean Wild Edible Plants Ethnobotany and Food Composition Tables. Springer. New York.*
- Waraich, E. A.; R. Ahmad; A. Halim; y T. Aziz. 2012. Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 12 (2): 221-244.

CAPÍTULO 4

EFFECTO DEL pH Y LA CONCENTRACIÓN DE HIERRO EN LA PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA DE BERRO (*Nasturtium officinale* R. Br.)

4.1. RESUMEN

El berro (*Nasturtium officinale* R. Br.) es una hortaliza con potencial como alimento por su valor nutricional y composición fitoquímica, sin embargo, la demanda de agua de buena calidad es una limitante para la producción, el pH es un factor que influye en la disponibilidad de nutrientes como el hierro, sin embargo existe poca información del efecto que tiene este factor y la concentración de hierro en el desarrollo del berro, por lo que en un invernadero de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos se estableció un experimento en sistema hidropónico con el objetivo de evaluar el desarrollo de plantas de berro en respuesta al pH (5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5) y la concentración de hierro (3, 5 y 7 mg L⁻¹). Se tuvieron 15 tratamientos y dos testigos, cada uno con cuatro repeticiones, en un diseño completamente al azar. La unidad experimental fue un recipiente de 3.8 L con un tallo de berro de 30 cm. Los resultados indicaron un crecimiento similar de las plantas, sin embargo, en la mayoría de variables se encontraron diferencias significativas solo la variable volumen de raíz no presentó diferencias significativas, el tratamiento 7/6.0 mostró resultados sobresalientes. Se concluye que el factor hierro influye de forma positiva a mayor concentración (7 mg L⁻¹) y que los niveles de pH con mejor efecto se encontraron entre 5.5 a 6.5. El tratamiento con mayor influencia en el desarrollo y rendimiento fue el de 7 mg L⁻¹ de Fe y pH 6.0.

Palabras clave: Hierro, efecto, pH, desarrollo.

4.2 SUMMARY

Watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.) is a vegetable with potential as food due to its nutritional value and phytochemical composition, however, the demand for good quality water is a limiting factor for production, pH is a factor that influences the availability of nutrients such as Iron; there is little information on the effect of pH and iron concentration on the development of watercress, so in a greenhouse of the Faculty of Agricultural Sciences of the Autonomous University of the State of Morelos an experiment was established in a hydroponic system with the aim of evaluating the development of watercress plants in response to pH (5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5) and iron concentration (3, 5 and 7 mg L⁻¹). There were 15 treatments and two controls, each with four repetitions, in a completely randomized design. The experimental unit was a 3.8 liter container with a 30 cm cress stem. The results indicated a similar growth of the plants, however, in most variables significant differences were found, only the root volume variable did not present significant differences, the 7 / 6.0 treatment showed outstanding results. It is concluded that the iron factor has a positive influence at a higher concentration (7 mg L⁻¹) and that the pH levels with the best effect were found between 5.5 to 6.5. The treatment with the greatest influence on development and yield was the Fe concentration of 7 mg L⁻¹ and pH 6.0.

Key words: Iron, efect, pH, growth.

4.3. INTRODUCCIÓN

El berro (*Nasturtium officinale* R. Br.) es una hortaliza de consumo popular en Europa y Asia, sitios de origen de esta planta (Palaniswamy y McAvoy, 2001), en la actualidad se encuentra distribuida en varios países alrededor del mundo, donde se siembra y consume de manera local (CABI, 2020). La aportación de minerales como potasio (K), calcio (Ca), hierro (Fe) y manganeso (Mn), proteínas fibra, carbohidratos (Manchali *et al.*, 2012), y fitoquímicos con actividad anticancerígena y/o antioxidante (Chai *et al.*, 2015) han incrementado el interés en su estudio y producción.

En la naturaleza, el berro crece en ríos y arroyos, el agua sirve como soporte y medio de nutrición, por lo que el potencial nutritivo y fitoquímico del berro se ve afectado por la calidad del agua. La búsqueda de alternativas para mitigar el impacto ambiental del uso del agua y fertilizantes ha generado alternativas de producción más eficientes (Sambo *et al.*, 2019), el uso de sistemas hidropónicos no circulantes (Kratky, 2015), la acuaponía (Irhayyim *et al.*, 2020) y el uso de aguas con alta concentración de sales (Lira *et al.*, 2018) son alternativas generadas para optimizar el uso del agua para la producción de berro.

El elemento más importante en la producción hidropónica es la solución nutritiva, los factores que se deben considerar para la formulación de soluciones nutritivas son la conductividad eléctrica del agua, el balance entre cationes y aniones, la temperatura y el pH (Breś *et al.*, 2010; Patil *et al.*, 2020).

Un elemento de importancia para las plantas es el hierro, este elemento interviene como cofactor de enzimas involucradas en reacciones de óxido-reducción como la fotosíntesis, la respiración y síntesis de hormonas, forma parte estructural del cloroplasto, su carencia provoca clorosis en hojas jóvenes y cambios en la morfología de las raíces (Hochmuth, 2011; Rout y Sahoo, 2015). El pH es el factor más importante en la disponibilidad de Fe para las plantas en sistemas hidropónicos (Kasozi *et al.*, 2019).

El pH influye en la absorción de elementos, en la preparación de soluciones nutritivas se recomienda un pH del agua de 5.5 a 6.0, a pH alcalinos la disponibilidad de elementos en la solución nutritiva se reduce (Patil *et al.*, 2020), a rangos extremos de

pH el hierro se encuentra menos disponible (Rout y Sahoo, 2015). En otro estudio realizado con plantas de lechuga cultivadas en solución nutritiva, se determinó que a pH de 7 a 8, existe menor absorción de hierro, se manifestó clorosis y un menor desarrollo del área foliar (Roosta, 2011), Kasozi *et al.* (2019) apuntan la importancia del uso de quelatos de Fe con rango de disponibilidad más amplio (Fe- EDDHA o Fe- HBED) en producción por acuaponía, por el cambio de pH que genera la interacción planta-peze. El departamento de Recurso Naturales de Wisconsin (2009) reporta que la planta de berro crece mejor a pH neutro. Por lo que el objetivo de esta investigación fue conocer el pH y la concentración de hierro óptima para la producción de berro en hidroponía.

4.4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.4.1 Ubicación del experimento

El experimento se estableció en un invernadero del campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (18°58' 51" N, 99°13' 57" O, 1868 msnm) en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México, durante los meses de agosto a octubre del 2020. La temperatura mínima fue de 15.36 °C y la máxima de 28.33°C y una media de 21.84 °C, la humedad relativa osciló entre 65 y 92 %.

4.4.2 Material vegetal

La planta de berro utilizada para el experimento fue propagada en un invernadero del campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, para la reproducción se utilizaron esquejes obtenidos de una planta extraída de la zona productora de berro en Cuautla, Morelos, México (18°49'28.9" N 98°56'36.9" O), se utilizó un sistema hidropónico que consistió de canaletas de tubo PVC y se agregó solución nutritiva universal de Steiner al 15 % (Steiner, 1980) con riegos programados de 15 min cada 4 h. La planta propagada fue seleccionada por sus características de calidad para el consumo: largo y diámetro del tallo, número, tamaño y color de hojas.

4.4.3 Manejo del experimento

Se elaboraron 15 tratamientos con los factores de estudio niveles de pH 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5 y concentraciones de hierro 3, 5 y 7 mg L⁻¹ en la solución nutritiva. El experimento se estableció en una distribución de unidades experimentales completamente al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento. La unidad experimental consistió de un contenedor cilíndrico de plástico de 3.78 L de volumen, el cual se pintó en la parte externa de color negro de fondo y sobre este de color blanco para evitar el incremento de la temperatura y la formación de algas. El recipiente se llenó con solución nutritiva y se colocó dentro un tallo de berro de 30 cm de longitud. La nutrición de las plantas para todos los tratamientos fue la solución nutritiva Universal (Steiner, 1984) al 15 % de su concentración original. Para la preparación de la solución se utilizó agua purificada y fertilizantes solubles. Sumado a los tratamientos se

agregaron dos testigos, uno consistió de agua utilizada en la zona productora de berro y el segundo consistió de agua purificada.

La oxigenación del agua se realizó mediante bombas de pecera (Sunny SAP 3500 AC 110V-60 Hz 3.8 W), con periodos de bombeo de aire en el agua de 15 min cada dos horas, la solución nutritiva y el agua de los testigos se cambió cada 10 días durante los 40 días que duró el experimento. Para prevenir el ataque de plagas se realizaron aplicaciones de productos químicos, Clorpirifos Etil (Knocker 480®) a dosis de 1 L/ha, Imidacloprid+Lambda Cyalotrina (Corax®) a dosis de 200 mL/ha y Sulfocionato de dioctilo y sodio (Vikron®) a una dosis de 200 mL/ha.

4.4.4 Variables evaluadas y análisis estadístico

Se midió el contenido relativo de clorofila con el SPAD (Minolta SPAD-502 plus), la altura de planta se midió con un flexómetro, desde la base del tallo hasta el ápice más largo. El diámetro del tallo se midió con un vernier de carátula tipo reloj y se obtuvo de la base del tallo principal. Se contaron el número de tallos secundarios y número de hojas. El área foliar se midió con un integrador de área foliar (LI-COR modelo LI-3100c).

El peso de biomasa fresca se obtuvo al finalizar el experimento, para esto se fraccionaron las plantas (raíz, tallo y hojas) y se pesaron con una balanza digital (Ohaus CS2000). Para obtener el peso de biomasa seca, los órganos de las plantas se metieron en bolsas de papel estraza y se secaron en una estufa eléctrica (Luzeren DHG9070A), a temperatura de 70 °C hasta que el peso se matuvo constante.

El volumen de raíz se obtuvo por desplazamiento de agua, con una probeta graduada de 2 L, la probeta se aforó a 1 L, se sumergió la raíz y se obtuvo el volumen de agua desplazado. Las variables de crecimiento se midieron semanalmente a partir de los 7 días después del trasplante (DDT) y las variables destructivas a los 40 DDT.

A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza con el programa SAS (Version 9.0) y a las variables con efecto de tratamientos se les aplicó comparación de medias LSD ($P \leq 0.05$). Los datos biomasa fresca de raíz (BFR), biomasa seca de raíz (BSR) y volumen de raíz (VR) fueron transformados a raíz cuadrada para su análisis estadístico.

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De forma general las variables de crecimiento medidas en esta investigación indican; desarrollo similar de las plantas de berro sometidas a los distintos niveles de los factores concentración de hierro y pH. En cuanto a la comparación por tratamientos se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos y los testigos, el poco desarrollo y muerte de las plantas de los testigos UAEM y Río Cuautla influyeron, para observar estas diferencias.

El factor pH y la interacción influyeron en una mayor cantidad de variables medidas de acuerdo al análisis de varianza ($P \leq 0.05$).

El contenido relativo de clorofila, mostró comportamientos similares en la interacción de ambos factores los tratamientos 3/6.0, 3/7.0, 5/5.5, 5/6.0, 5/7.0, 7/5.5, 7/7.0 y 7/7.5 fueron los más sobresalientes (Cuadro 1). En el número de tallos se observaron diferencias en el factor pH con mejor media a pH 6.5 en la interacción, los tratamientos 3/6.0 y 7/5.5 fueron los más destacados (Cuadro 1). La altura de tallo mostró diferencias en la interacción, los tratamientos 5/6.0, 5/7.5 y 7/6.0 mostraron mejores medias (Cuadro 1).

El diámetro de tallo mostró diferencia en el factor pH, el nivel 7.5 mostró una media menor a la obtenida en los otros niveles de pH. En el número de hojas el tratamiento 3/6.5 tuvo una media sobresaliente y el tratamiento 3/7.5 presentó la media más baja (Cuadro 1).

En las variables destructivas se encontraron diferencias en el factor concentración de hierro para BSR, BFT, BST, BFH, BSH y AF, para los niveles de pH solo en la BFT, BST y AF y en la interacción para BFR, BSR, BFT, BST, BFH, BSH y AF, destacando la concentración de 7 mg L^{-1} de hierro y el nivel de pH 6 y el tratamiento 7/6.0. Los tratamientos con pH entre 5.5 y 6.5 en combinación con una mayor concentración de Fe (5 y 7 mg L^{-1}) tuvieron resultados sobresalientes (Cuadro 3 y 4). En cuanto al volumen de raíz los tratamientos 7/7.0, 7/6.0, 5/7.5 y 5/5.5, mostraron valores sobresalientes, sin embargo no se observó diferencia estadística, el área foliar mostró mayor número de agrupamientos distintos, destacando los tratamientos 7/7.5 y 7/6.0 (Cuadro 3). Con los resultados obtenidos en las variables medidas se observa una

tendencia de mayor desarrollo de las plantas de berro expuestas a dosis altas de hierro (5 y 7 mg L⁻¹) y valores de pH entre 5.5 a 6.5. Al respecto, Roosta (2011) apunta que el pH de 7 a 8 en la solución nutritiva influye de forma negativa en el crecimiento de lechuga, interfiriendo en la absorción de hierro y presentando clorosis en hojas jóvenes, menor desarrollo foliar y poco desarrollo de raíces, efectos atribuidos a la deficiencia de hierro.

La interacción con otros elementos en la solución nutritiva puede mejorar la disponibilidad de Fe, el N nítrico mejora la disponibilidad de S y Fe (Tomasi *et al.*, 2015). Jin *et al.* (2009) observaron cambios morfológicos en raíces de tomate con limitaciones de fuentes de hierro y altos niveles de CO₂ provocando mayor actividad de quelato reductasa férrico secreción de protones y el desarrollo de raíces subapicales, se sugiere que el CO₂ mejora la actividad de la nitrato reductasa incrementando los niveles de nitrato y mejorando la expresión del gen FER, estos cambios fortalecen las respuestas moleculares y fisiológicas induciendo cambios en las raíces. La disponibilidad de Fe puede verse afectada por cambios en el pH o por la presencia de otros iones (Tomasi *et al.*, 2015). Factores como el pH en rangos extremos, la presencia de carbonatos y bicarbonatos en el suelo o agua de riego, sobreriego, altos niveles de fosfatos y metales pesados, altas temperaturas, la intensidad de la luz así como el daño de las raíces por nematodos u otros organismos interfieren con la deficiencia de hierro en las plantas (Rout y Sahoo 2015).

Kasozi *et al.* (2019) señalan que el pH es el factor más importante en la disponibilidad de Fe para las plantas en sistemas de producción por acuaponía ya que afecta la estabilidad y la disponibilidad de los quelatos, se recomienda el uso de quelatos de Fe: EDDHA o Fe-HBED a pH mayores a 6.5. El uso de quelato de Fe EDDHA pudo influir en la disponibilidad de hierro a pH poco ácidos y neutros (6.5-7.5), este quelato de Fe proporciona mejor estabilidad a pH alcalinos y permite una rápida absorción (Sierra *et al.*, 2006). La absorción de hierro es una compleja interacción entre la planta y el medio en el que se desarrolla, la correcta absorción de este elemento depende de rasgos genéticos de la planta, del estado de oxidación y solubilidad del elemento (Briat *et al.*, 2014).

Por su parte, Lucena *et al.* (2010) determinaron la importancia de la fuente de Fe y el nivel de pH en la disponibilidad de este elemento en la solución nutritiva al evaluar siete complejos de Fe comercial (Borrechel-Fe, Manvert-Fe, Tersol-Fe, Welgro Micromix, Humate-Fe, Humict e Inabonost). Solo el complejo Borrechel-Fe se encontró en un porcentaje de 80-85 % a pH 6.5, el resto de complejos se encontraron disponibles en un porcentaje menor a 25 %, y la disponibilidad disminuyó aun más a pH mayor a 6.5, por lo que se sugiere que el efecto del pH pudo influir en la disponibilidad de hierro incrementando el contenido de biomasa fresca y seca en los tratamientos con niveles de pH 5.5 a 6.5, Patil *et al.* (2020), señalan que el pH recomendado para la agricultura hidropónica está entre los niveles 5.5 a 6.5. Para el caso del berro el Departamento de Recursos Naturales de Wisconsin (2009) reporta el pH neutro como ideal para el crecimiento del berro con tolerancia de pH 5.5 a 8.0. lo que indica una gran flexibilidad de la planta de berro a condiciones extremas de pH y disponibilidad de nutrientes.

Cuadro 1. Contenido relativo de clorofila, número de tallos, altura de tallo, diámetro de tallo y número de hojas en plantas de berro por efecto de las soluciones nutritivas con tres concentraciones de hierro y cinco valores de pH.

Niveles del factor	CRC SPAD	Número de tallos (cm)	Altura de tallo (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Número de hojas
Concentración de hierro (mg L ⁻¹)					
3	38.29 a	10.84 a	33.84 a	0.30 a	12.49 a
5	39.25 a	10.82 a	37.01 a	0.32 a	12.58 a
7	39.29 a	10.95 a	36.57 a	0.32 a	12.75 a
DMS	2.12	1.45	5.23	0.03	1.51
Nivel de pH					
5.5.	38.72 a	11.31 ab	34.26 a	0.32 ab	11.91 a
6.0	39.44 a	11.50 ab	39.07 a	0.33 a	13.67 a
6.5	38.92 a	11.63 a	38.03 a	0.33 ab	13.52 a
7.0	40.06 a	10.16 ab	33.65 a	0.31 ab	12.06 a
7.5	37.59 a	9.73 b	34.01 a	0.29 b	11.87 a
DMS	2.74	1.88	6.76	0.03	1.96
Tratamientos Hierro/pH					
3/5.5	37.17 ab	10.70 abc	30.88 ab	0.33 a	10.82 bc
3/6.0	40.44 a	12.70 a	36.68 ab	0.31 a	13.50 ab
3/6.5	39.27 ab	11.70 ab	37.54 ab	0.34 a	14.65 a
3/7.0	39.97 a	11.05 abc	36.72 ab	0.32 a	13.50 ab
3/7.5	34.62 b	8.05 c	27.35 b	0.22 b	10.01 c
5/5.5	39.56 a	11.25 abc	35.99 ab	0.31 a	12.15 abc
5/6.0	39.87 a	11.50 ab	39.49 a	0.33 a	13.57 ab
5/6.5	38.54 ab	11.35 ab	37.90 ab	0.32 a	12.65 abc
5/7.0	40.56 a	8.95 ab	32.30 ab	0.30 a	11.05 bc
5/7.5	37.17 ab	11.05 ab	39.37 a	0.34 a	13.49 ab
7/5.5	39.44 a	12.0 ab	35.90 ab	0.31 a	12.75 abc
7/6.0	38.03 ab	10.30 abc	41.04 a	0.36 a	13.94 ab
7/6.5	38.94 ab	11.85 ab	38.64 ab	0.32 a	13.27 abc
7/7.0	39.64 a	10.50 abc	31.95 ab	0.31 a	11.64 abc
7/7.5	40.41 a	10.10 abc	35.32 ab	0.31 a	12.12 abc
DMS	4.75	3.26	11.71	0.06	3.39
CV (%)	8.56	21.06	22.96	14.12	18.91

Valores con las mismas letras entre columnas son estadísticamente iguales para los factores y la interacción entre los factores concentración de hierro (mg L⁻¹) y nivel de pH (LSD P≥0.05). DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación. CRC: Contenido relativo de clorofila.

Cuadro 2. Biomasa fresca y seca de raíz, tallo y hojas de plantas de berro, por efecto de las soluciones nutritivas con tres concentraciones de hierro y cinco valores de pH.

Niveles del factor	BFR (g)	BSR (g)	BFT (g)	BST (g)	BFH (g)	BSH (g)
Concentración de hierro (mg L ⁻¹)						
3	6.58 a	1.17 b	83.60 b	6.20 b	59.80 b	5.35 b
5	7.05 a	1.32 ab	101.40 a	8.20 a	71.05 a	6.20 ab
7	7.19 a	1.43 a	109.60 a	8.65 a	75.90 a	7.05 a
DMS	0.88	0.17	13.69	1.37	9.32	1.15
Nivel de pH						
5.5.	7.32 a	1.31 a	93.16 ab	6.50 b	67.50 a	5.83 a
6.0	7.25 a	1.29 a	110.33 a	9.0 a	75.50 a	6.83 a
6.5	6.85 a	1.37 a	107.91ab	8.25 ab	70.58 a	6.50 a
7.0	7.04 a	1.38 a	84.50 b	7.0 b	64.50 a	5.58 a
7.5	6.24 a	1.19 a	95.08 ab	7.66 ab	66.50 a	6.25 a
DMS	1.14	0.22	17.67	1.77	12.04	1.75
Tratamientos Hierro/pH						
3/5.5	7.05 ab	1.10 abc	62.75 e	3.25 d	43.50 d	3.25 b
3/6.0	6.93 ab	1.20 abc	99.25 abc	7.75 abc	73.25 abc	7.0 ab
3/6.5	6.82 ab	1.31 ab	106.0 ab	8.0 abc	71.75 abc	6.50 ab
3/7.0	6.62 ab	1.28 ab	82.50 bcde	6.25 bcd	57.0 bcd	5.0 ab
3/7.5	5.46 b	0.85 c	67.50 de	5.75 dc	53.50 cd	5.0 ab
5/5.5	7.88 a	1.41 ab	106.0 ab	7.25 abc	78.0 a	7.0 ab
5/6.0	6.51 ab	1.10 bc	115.0 a	9.75 a	69.25 abc	5.75 ab
5/6.5	7.09 ab	1.41 ab	100.50 abc	7.75 abc	69.0 abc	6.0 ab
5/7.0	6.97 ab	1.39 ab	73.50 dce	7.0 abc	64.0 abcd	5.0 ab
5/7.5	6.80 ab	1.31 ab	112.0 ab	9.25 ab	75.0 ab	7.25 a
7/5.5	7.03 ab	1.31 ab	110.75 ab	9.0 ab	81.0 a	7.25 a
7/6.0	8.31 a	1.57 a	116.75 a	9.50 a	84.0 a	7.75 a
7/6.5	6.64 ab	1.39 ab	117.25 a	9.0 ab	71.0 abc	7.0 ab
7/7.0	7.53 a	1.46 ab	97.50 abcd	7.75 abc	72.50 abc	6.75 ab
7/7.5	6.46 ab	1.41 ab	105.75 ab	8.0 abc	71.0 abc	6.50 ab
DMS	1.97	0.38	30.61	3.07	20.86	3.82
CV (%)	20.00	20.74	21.49	28.09	21.25	24.34

Valores con la misma letra entre columnas son estadísticamente iguales para los factores y la interacción entre los factores concentración de hierro (mg L⁻¹) y nivel de pH (LSD, P≥0.05). DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación. BFR: biomasa fresca de raíz; BSR: biomasa seca de raíz; BFT: biomasa fresca de tallo; BSC, biomasa seca de tallo; BFH; biomasa fresca de hoja; BSH: biomasa seca de hoja.

Cuadro 3. Volumen de raíz y área foliar de plantas de berro por efecto de las soluciones nutritivas con tres concentraciones de hierro y cinco valores de pH.

Niveles del factor	Volumen de raíz (mL)	Área foliar (cm ²)
	Concentración de hierro (mg L ⁻¹)	
3	6.86 a	1097.09 c
5	7.39 a	1367.51 b
7	7.51 a	1566.28 a
DMS	1.0	162.79
	Nivel de pH	
5.5	7.14 a	1264.9 ab
6.0	7.34 a	1439.2 a
6.5	7.47 a	1391.0 ab
7.0	7.40 a	1220.8 b
7.5	6.92 a	1402.3 ab
DMS	1.30	210.17
	Tratamientos Hierro/pH	
3/5.5	6.46 a	721.3 f
3/6.0	7.05 a	1337.5 bcde
3/6.5	7.57 a	1309.6 bcde
3/7.0	7.19 a	1100.6 de
3/7.5	6.01 a	1016.50 fe
5/5.5	7.73 a	1507.31 abc
5/6.0	7.03 a	1336.2 bcde
5/6.5	7.52 a	1363.6 bcde
5/7.0	7.03 a	1177.0 cde
5/7.5	7.67 a	1453.4 abcd
7/5.5	7.22 a	1566.0 ab
7/6.0	7.95 a	1643.8 ab
7/6.5	7.33 a	1499.8 abc
7/7.0	7.99 a	1384.74 abcd
7/7.5	7.08 a	1737.0 a
DMS	2.25	364.02
CV (%)	21.78	19.02

Valores con las mismas letras entre columnas son estadísticamente iguales para los factores y la interacción entre los factores concentración de hierro (mg L⁻¹) y nivel de pH (LSD, P≥0.05). DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

4.6. CONCLUSIONES

Las plantas de berro cultivadas en hidroponía y bajo invernadero de cubierta plástica tiene un mejor desarrollo a mayor concentración de hierro y a pH ligeramente ácido. La concentración de hierro influyó en el desarrollo de las plantas de berro de forma positiva cuando estuvo presente a mayor concentración(7 mg L⁻¹). Se observó un comportamiento sobresaliente de las variables medidas en los niveles 5.5 a 6.5 de pH. Las interacciones muestran que el tratamiento con mayor influencia fue el de 7 mg L⁻¹ de hierro y pH 6.0.

4.7. LITERATURA CITADA

- Breś, W.; Kleiber T.; y T. Trelka. 2010. Quality of water used for drip irrigation and fertigation of horticultural plants. *Folia Horticulturae*. 22/2:67-74.
- Briat, J. F.; C. Curie; y F. Gaymard. 2007. Iron utilization and metabolism in plants. *Current Opinion in Plant Biology*. 10:276–282.
- Centre for Agricultural Bioscience International [En línea].
<https://www.cabi.org/isc/datasheet/35646>
Fecha de acceso: 13-noviembre-2020.
- Chai, T. T.; K. F. Ooh; Y. Quah; y C. F. Wong. 2015. Edible freshwater macrophytes: a source of anticancer and antioxidative natural products—a mini-review. *Phytochem Rev* 14:443–457.
- Fennell, F. M. J. 2006. Potential for watercress production in Australia. Rural Industries Research and Development Corporation. Australia. 66 p.
- Hochmuth, G. 2011. Iron (Fe) Nutrition of Plants. Department of Soil and Water Sciences [En línea].
<https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/SS/SS55500.pdf>
Fecha de acceso: 13-noviembre-2020.
- Irhayyim, T.; M. Fehér; J. Lelesz; M. Bercsényi; y P. Bársony. 2020. Nutrient Removal efficiency and growth of watercress (*Nasturtium officinale*) under different harvesting regimes in integrated recirculating aquaponic systems for rearing common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Water* 12:1419.
- Jin, C. W.; S. T. Du; W. W. Chen; X. G. Li; S. Y. Zhang y J. S. Zheng. 2009. Elevated Carbon Dioxide Improves Plant Iron Nutrition through Enhancing the Iron-Deficiency-Induced Responses under Iron-Limited Conditions in Tomato. *Plant Physiology*. 50:272–280.
- Kasozi, N.; R. Tandlich; M. Fick; H. Kaiser; y B. Wilhelmi. 2019. Iron supplementation and management in aquaponic systems: A review. *Aquaculture Reports* 15: 1-10.
- Kratky, B. A. 2015. Growing direct-seeded watercress by two non-circulating hydroponic methods. *Vegetable Crops* 7.

- Lira, M.R.; Ê. F.F. Silva; G. F. Silva; H. R. Soares; L.; y G. Willadino. 2018. Growth, water consumption and mineral composition of watercress under hydroponic system with brackish water. *Horticultura brasileira* 36: 13-19.
- Lucena, J. J.; A. Gárate; y M. Villén. 2010. Stability in solution and reactivity with soils and soil components of iron and zinc complexes. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 173:900–906.
- Manchali, S.; K. N. C. Murthy.; y B. S. Patilb. 2012. Crucial facts about health benefits of popular cruciferous vegetables *Journal of functional foods* 4:94 –106.
- Palaniswamy, U. R.; y R. J. McAvoy. 2001. Watercress: A salad crop with chemopreventive potential. *Hortotechnology.* 11:4.
- Patil, S. T.; U. S. Kadam; M. S. Mane; D. M. Mahale; y J. S. Dekale. 2020. Hydroponic nutrient solution: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 9(5): 2095-2099.
- Roosta, H. R. 2011. Interaction between water alkalinity and nutrient solution ph on the vegetative growth, chlorophyll fluorescence and leaf magnesium, iron, manganese, and zinc concentrations in lettuce. *Journal of Plant Nutrition.* 34:717–731.
- Rout, R. G. y S. Sahoo. 2015. Role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science.* 3:1-24.
- Sambo, P.; C. Nicoletto; A. Giro; Y. Pii; F. Valentinuzzi; T. Mimmo; P. Lugli; G. Orzes; F. Mazzetto; S. Astolfi; R. Terzano; y S. Cesco. 2019. Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective. *Frontiers in Plant Science.* 10(923) 1-17.
- Sierra, M.A.; M. Gómez-Gallego; R. Escudero; J. J. Lucena; y S. M. García. 2006. New non-symmetrical ethylene diamino hydroxyphenyl acetic acid products for the treatment of the iron chlorosis. WO patent 2008077897.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. pp. 633-650. In: *Proceedings 6th International Congress on Soilles Culture.* Wageningen, The Netherlands.
- Tomasi, N.; R. Pinton; C. L. Dalla; G. Cortella; R. Terzano; T. Mimmo; M. Scampicchio; y S. Cesco. 2015. New 'solutions' for floating cultivation system of ready-to-eat salad: A review. *Trends in food science & technology.* 44 267-276.

Wisconsin Department of Natural Resources WDNR. 2009. Aquatic Invasive Species Literature Review. <https://dnr.wi.gov/topic/Invasives/documents/classification/Nasturtium%20officinale.pdf>. (noviembre 2020).

CAPÍTULO 5

EFECTO DE LA RELACIÓN NITRATO-CALCIO EN LA PRODUCCIÓN DE BERRO (*Nasturtium officinale* R. Br.) HIDROPÓNICO

5.1 RESUMEN

La producción de berro en sistemas hidropónicos permite un uso más eficiente del agua e insumos; sin embargo, se deben realizar investigaciones adicionales para optimizar la concentración de los nutrientes utilizados. Dos elementos importantes en la producción agrícola son el nitrógeno (N) y el calcio (Ca), elementos esenciales en el desarrollo de las plantas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la relación nitrato-calcio de la solución nutritiva en la producción hidropónica de berro, para esto se estableció un experimento con un diseño completamente al azar, con 9 tratamientos formados por la combinación de 10, 12 y 14 meq·L⁻¹ de N-NO₃⁻ y 7, 9 y 11 meq·L⁻¹ de Ca²⁺. Se determinó el contenido relativo de clorofila, la altura, diámetro, número de tallos y hojas, la biomasa fresca y seca, el volumen de raíz, la firmeza del tallo y el área foliar. Los resultados muestran diferencias en el contenido relativo de clorofila para el factor N-NO₃⁻ a 14 meq·L⁻¹ y en la interacción N-NO₃⁻ Ca²⁺ a 14/7 y 14/9, en biomasa fresca de tallo y de hoja para Ca²⁺ a 11 meq·L⁻¹ y en la interacción para biomasa fresca de tallo en el tratamiento 12/9 (12 meq·L⁻¹ N-NO₃⁻ y 9 meq·L⁻¹Ca²⁺), En área foliar se encontraron diferencias en la interacción en el tratamiento 10/11 (10 meq·L⁻¹ N-NO₃⁻ y 11 meq·L⁻¹Ca²⁺), y en firmeza de tallo en el tratamiento 12/11 (12 meq·L⁻¹ N-NO₃⁻ y 11 meq·L⁻¹Ca²⁺). Se concluye que el N-NO₃⁻ es aprovechado de forma más eficiente al utilizar mayores concentraciones de Ca²⁺ (9 y 11 meq·L⁻¹), se sugiere que existe una interacción positiva entre el N-NO₃⁻ y el Ca²⁺; en el cultivo de berro.

Palabras clave: Producción, Solución nutritiva, elementos.

5.2 SUMMARY

The production of watercress in hydroponic systems allows a more efficient use of water and inputs, however additional research must be carried out to optimize the nutrients concentration used, two important elements in agricultural production are N and Ca essential elements in the plant development. The objective of this work was to evaluate the effect of the nitrate-calcium ratio of the nutrient solution in the hydroponic production of watercress, for this an experiment was established with a completely random design, with 9 treatments formed by the combination of 10, 12 and 14 $\text{mEq}\cdot\text{L}^{-1}$ de N-NO_3^- and 7, 9 y 11 $\text{mEq}\cdot\text{L}^{-1}$ of Ca^{2+} , the chlorophyll content, height, diameter, number of stems and leaves, fresh and dry biomass, the root volume, stem firmness and leaf area. The results show differences in the relative chlorophyll content variable for the factor N-NO_3^- at 14 $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ and in the interaction $\text{N-NO}_3^- \text{ Ca}^{2+}$ a 14/7 and 14/9, in fresh biomass of stem and of leaf for Ca^{2+} a 11 $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$, in the interaction for fresh stem biomass in treatment 12/9 (12 $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ N-NO_3^- y 9 $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}\text{Ca}^{2+}$), in the variable leaf area differences were found in the interaction in treatment 10/11 (10 $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ N-NO_3^- y 11 $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}\text{Ca}^{2+}$), and in stem firmness in treatment 12/11 (12 $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ N-NO_3^- y 11 $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}\text{Ca}^{2+}$). It is concluded that N-NO_3^- is used more efficiently by using higher concentrations of Ca^{2+} (9 y 11 $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$), it is suggested that there is a positive interaction between N-NO_3^- y el Ca^{2+} , however this it can vary between plant species.

Key words: production, nutrient solution, elements.

5.3 INTRODUCCIÓN

El berro (*Nasturtium officinale* R. Br.) es una planta perenne semiacuática, que se encuentra comúnmente en aguas frías y alcalinas de manantiales y arroyos alrededor del mundo (USDA, 2021). Por su naturaleza, el berro se ha cultivado en sistemas extensivos e hidropónicos (Fernell, 2006), La producción en sistemas hidropónicos permiten un uso más eficiente del agua e insumos, donde la nutrición es un factor importante en la producción y se debe ajustar al cultivo establecido tomando en cuenta la especie y etapa fenológica (Sambo *et al.*, 2019; Patil *et al.*, 2020).

El diseño de soluciones nutritivas es un factor importante en la hidroponía ya que los requerimientos nutrimentales de cada especie vegetal son distintos, las características de la solución nutritiva que más influencia tienen en el desarrollo de vegetales son la relación mutua entre cationes, la relación mutua entre aniones, la concentración total de iones y el pH (Steiner, 1984).

Entre los nutrientes más importantes en la producción agrícola se encuentra el nitrógeno (N) este elemento está presente en la biosfera en varias formas químicas sin embargo, la planta lo absorbe a través de las raíces como NO_3^- o NH_4^+ (Forde y Clarkson 1999), participa en la síntesis de ácidos nucleicos, aminoácidos proteínas, clorofilas y alcaloides, interviene como un agente osmótico permitiendo retener el agua en las vacuolas. (Cárdenas-Navarro *et al.* 2004).

El calcio (Ca) es un elemento esencial en el crecimiento y desarrollo de las plantas, es un catión divalente que se concentra en las paredes celulares (apoplasto) y de forma intercambiable en la membrana plasmática. Las funciones que cumple este elemento pueden ser estructural o como componente regulador de las macromoléculas se relacionan con su capacidad de coordinación (Marschner, 2012). Otra función del Ca es actuar como un segundo mensajero, interviniendo en diversas funciones celulares entre las que se incluyen respuestas al estrés biótico y abiótico (Hepler, 2005).

Los nutrientes disueltos en el agua de una solución nutritiva están en interacción continua, un nutriente afecta la absorción de otro cuando alguno de los dos se

encuentra en menor o mayor concentración formando sinergismos y antagonismos, estas interacciones pueden suceder en la superficie de la raíz o dentro de la planta (Fageria, 2001; Shrestha *et al.*, 2020).

El N al ser un elemento que puede estar disponible para la planta como catión (NH_4^+) o anión (NO_3^-) puede interactuar de distintas formas con los otros elementos de la solución nutritiva. Un exceso de N puede afectar la disponibilidad de los elementos K y Ca (Rietra *et al.*, 2017). El Ca puede estimular la absorción de P y K bajo ciertos rangos de concentración de iones en una solución nutritiva (Fageria, 2001).

Se han realizado estudios de variaciones en la concentración y relación de cationes y aniones en la Solución Universal de Steiner que han permitido utilizar de forma más eficiente los fertilizantes, lo que permitirá el diseño de soluciones nutritivas exclusivas para cultivos evaluados e incluso para cada una de sus etapas fenológicas como lo apuntan Villegas *et al.* (2005), al evaluar la aplicación de solución nutritiva Steiner modificada en plántulas de tomate, los resultados muestran que la aplicación de 6 meq L^{-1} de Ca en la solución nutritiva favorece la acumulación de los elementos P y Mg y la aplicación de 12 meq L^{-1} de Ca incrementa de forma significativa la materia seca de raíz. Torres-Olivar *et al.* (2015) reportaron un incremento significativo de la biomasa aérea y radical en plantas de noche buena nutridas con 10 meq L^{-1} de N-NO_3^- en la etapa radical y vegetativa.

En la Con base en la revisión de literatura no se encontró información sobre soluciones nutritivas diseñadas para el cultivo de berro, por lo que este estudio tuvo como objetivo determinar la respuesta morfológica de berro a la modificación de la solución nutritiva universal de Steiner en la relación N-NO_3^- y Ca^{2+} .

5.4 MATERIALES Y MÉTODOS

5.4.1 Ubicación del experimento

El experimento se estableció en un invernadero del campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (18°58' 51" N, 99°13' 57" O, 1868 msnm) en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, localizada en Cuernavaca Morelos, México, durante los meses de enero a marzo del 2021. La temperatura mínima registrada fue de 10 °C y la máxima de 24 °C, la humedad relativa osciló entre 65 y 92%.

5.4.2 Material vegetal

La planta de berro utilizada para el experimento fue propagada en un invernadero del campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, para la reproducción se utilizaron esquejes obtenidos de una planta extraída de la zona productora de berro en Cuautla, Morelos, México (18°49'28.9" N 98°56'36.9" O), se utilizó un sistema hidropónico que consistió de canaletas de tubo PVC y se agregó solución nutritiva universal de Steiner al 15% (Steiner 1980) con riegos programados de 15 min cada 4 h. La planta propagada fue seleccionada por sus características de calidad para el consumo: largo y diámetro del tallo, número, tamaño y color de hojas.

5.4.3 Manejo del experimento

Se elaboraron 9 tratamientos por la combinación de las concentraciones de NO_3^- y Ca^{2+} de la solución nutritiva de Steiner y pH de 6 (Cuadro 1). El experimento se estableció en una distribución de unidades experimentales completamente al azar, con cinco repeticiones por tratamiento. La unidad experimental consistió de un contenedor cilíndrico de plástico de 3.78 L de volumen, el cual se pintó en la parte externa de color negro de fondo y sobre este de color blanco para evitar el incremento de la temperatura y la formación de algas. El recipiente se llenó con solución nutritiva y se colocó dentro un tallo de berro de 30 cm de longitud. Para la preparación de la solución se utilizó agua purificada y fertilizantes comerciales solubles.

La oxigenación del agua se realizó mediante bombas de pecera (Sunny SAP 3500 AC 110V-60 Hz 3.8 W), con periodos de bombeo de aire en el agua de 15 min cada dos

h, la solución nutritiva y el agua de los testigos se cambió cada 10 días durante los 40 días que duró el experimento. Para prevenir el ataque de plagas se realizaron aplicaciones de productos químicos, Clorpirifos Etil (Knocker 480®) a dosis de 1 L/ha, Imidacloprid+Lambda Cyalotrina (Corax®) a dosis de 200 mL/ha y Sulfoccionato de dioctilo y sodio (Vikron®) a una dosis de 200 mL/ha.

Cuadro 1. Tratamientos generados por la combinación de las concentraciones de nitrato y calcio en la solución nutritiva para la producción de berro (*Nasturtium officinale*).

Tratamiento	Descripción	
	Concentración de N-NO ₃ ⁻ (mEq·L ⁻¹)	Concentración de Ca ²⁺ (mEq·L ⁻¹)
1	10	7
2	10	9
3	10	11
4	12	7
5	12	9
6	12	11
7	14	7
8	14	9
9	14	11

5.4.4 Variables evaluadas y análisis estadístico

Se midió el contenido relativo de clorofila con el SPAD (Minolta SPAD-502 plus), la altura de planta se midió con una cinta métrica, desde la base del tallo hasta su ápice más largo. El diámetro del tallo se midió con un vernier de carátula tipo reloj y se obtuvo de la base del tallo principal. Se contó el número de tallos secundarios y número de hojas. El área foliar se midió con un integrador de área foliar (Li-COR modelo LI-3100c). El peso de biomasa fresca se obtuvo al finalizar el experimento, para esto se fraccionaron las plantas (raíz, tallo y hojas) y se pesaron con una balanza digital (Ohaus CS2000). Para obtener el peso seco, los órganos de las plantas se colocaron

en bolsas de papel estraza y se secaron en una estufa eléctrica (Luzeren DHG9070A), a una temperatura de 70°C por un periodo de 72 horas, hasta que el peso se mantuvo constante.

El volumen de raíz se obtuvo por desplazamiento de agua, con una probeta graduada de 2 L, la probeta se aforó a 1 L, se sumergió la raíz y se obtuvo el volumen de agua desplazado. La firmeza de tallo se determinó con un texturómetro (MT150 Ametek, Chatillon®) con puntal de bisel doble, se cortó un trozo de tallo de 5 centímetros de largo de la parte media de la planta y se presionó en tres sitios distintos. Las variables de crecimiento se midieron semanalmente a partir de los 7 días después del trasplante (DDT) y las variables destructivas a los 40 DDT.

A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza con el programa SAS (Versión 9.0) y a los datos con efecto de tratamientos se les aplicó la prueba de comparación múltiple de medias LSD ($P \leq 0.05$). Los datos altura de tallos secundarios (ATS) y volumen de raíz (VR) fueron transformados a raíz cuadrada para su análisis estadístico.

5.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo de las plantas de berro mostró un comportamiento similar en su desarrollo como lo indican las variables, número de tallos secundarios (NTS), altura de tallos secundarios (ATS) diámetro de tallos secundarios (DTS) y número de hojas de tallos secundarios (NHTS). Solo el contenido relativo de clorofila (CRC) mostró diferencias en el factor concentración de N-NO_3^- con mayor actividad a $14 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ y en interacción $\text{N-NO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$, con una mayor actividad de los tratamientos 14/7 y 14/9. Parra-Terraza *et al.* (2010) reportan efectos negativos en plántulas de tomate en las variables número de hojas, diámetro de tallo, volumen de raíz y peso fresco de plántula con dosis de 12 mol m^{-3} de N-NO_3^- ; sin embargo, la concentración de Ca en hojas tallos y raíces fue mayor a esta dosis de N-NO_3^- . La adición de nitrógeno NO_3^- al suelo o a la solución nutritiva, puede modificar el pH haciéndolo más alcalino interfiriendo en la absorción de otros elementos, o puede interactuar con algunos microelementos cuando se estimula el crecimiento demandando mayor concentración de otros nutrientes provocando deficiencias (Fageria, 2001). Crisóstomo *et al.* (2014) obtuvieron plantas de arandano con mayor tamaño fertilizadas con solución nutritiva Steiner con una relación 0/100 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ (5.67 mmol L^{-1} de NO_3^-) como fuente de nitrógeno y pH 5.0, el pH ácido (5.0-6.0) también influyó en la concentración foliar de K, Ca, Mg, Mn y Zn cuando la fuente de N fue NH_4^+ . El cultivo de berro tiene un mejor desarrollo a pH 6.0 a 7.0, en esta investigación se utilizó un pH de 6.0 y como fuente de nitrógeno NO_3^- , por lo que esto pudo influir en el similar desarrollo de las plantas de berro con todos los tratamientos.

En las variables medidas al término del experimento se encontraron diferencias significativas en las variables BFT y BFH para el factor concentración de Ca^{2+} a $11 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ y en la interacción para la variable BFT, se cuantificó mayor biomasa en el tratamiento 12/9 ($12 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ N-NO_3^- y $9 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ Ca^{2+}), en la variable BFH se cuantificó mayor biomasa en el tratamiento 10/11 ($10 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ N-NO_3^- y $11 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ Ca^{2+}). Torres-Olivar *et al.* (2015) reportaron un incremento significativo de la biomasa aérea y radical en plantas de noche buena nutridas con 10 meq L^{-1} de N-NO_3^- en la etapa radical y vegetativa. En otro estudio Zhang *et al.* (2005) reportan un comportamiento similar en

contenido de biomasa de plantas de espinaca cultivada en solución nutritiva con 8, 12, 16 y 20 mM de NO_3^- destacando que el uso de 8 mM generó un contenido de biomasa similar a utilizar la dosis más alta (20 mM de NO_3^-) y menor producción de oxalatos totales, compuestos que inhiben la absorción del Ca en humanos.

Cuadro 2. Contenido relativo de clorofila, número de tallos, altura de tallos diámetro de tallos y número de hojas de plantas de berro por efecto de las soluciones nutritivas con diferente concentración de nitrógeno (N-NO_3^-) y calcio (Ca^{2+}).

Niveles del factor	CRC (SPAD)	NTS	ATS (cm)	DTS (mm)	NH
Concentración de N-NO_3^- (meq·L ⁻¹)					
10	47.28 b	14.80 a	3.86 a	0.35 a	10.46 a
12	48.18 ab	15.48 a	3.88 a	0.39 a	10.35 a
14	49.42 a	14.70 a	3.94 a	0.39 a	10.15 a
Concentración de Ca^{2+} (meq·L ⁻¹)					
7	48.79 a	15.36 a	3.65 a	0.35 a	9.45 a
9	48.76 a	14.58 a	4.07 a	0.39 a	11.45 a
11	47.33 a	15.04 a	3.96 a	0.39 a	10.05 a
DMS	1.57	1.26	0.44	0.04	1.67
Interacción N-NO_3^- Ca^{2+} (meq·L ⁻¹)					
10/7	48.25 ab	14.92 a	3.65 a	0.34 b	9.18 a
10/9	47.78 ab	14.40 a	4.07 a	0.37 ab	11.87 a
10/11	45.81 b	15.04 a	3.84 a	0.35 ab	10.33 a
12/7	48.46 ab	15.48 a	3.61 a	0.36 ab	9.64 a
12/9	48.01 ab	15.68 a	3.98 a	0.40 ab	11.73 a
12/11	48.09 ab	15.28 a	4.04 a	0.42 a	9.69 a
14/7	49.68 a	15.68 a	3.69 a	0.36 ab	9.54 a
14/9	50.49 a	13.64 a	4.15 a	0.41 ab	10.76 a
14/11	48.09 ab	14.80 a	3.98 a	0.39 ab	10.14 a
DMS	2.73	2.19	0.77	0.07	2.89
CV (%)	4.40	11.39	15.58	14.94	21.89

Valores con las mismas letras entre columnas son estadísticamente iguales para los factores y la interacción entre los factores concentración de N-NO_3^- y Ca^{2+} (meq·L⁻¹) (LSD $P \geq 0.05$). DMS: Diferencia mínima menos significativa; CV: Coeficiente de variación. CRC: Contenido relativo de clorofila, NT: Número de tallos, AT: Altura de tallos, DT: Diámetro de tallo. NH: Número de hojas.

Parra *et al.* (2018) evaluaron la interacción de 3 proporciones porcentuales de NO_3^- /aniones (40/100, 60/100 y 80/100) y K^+ /cationes (15/100, 35/100, 55/100) en la solución nutritiva, para la producción de papa variedad Agatha, los resultados

obtenidos no mostraron diferencias significativas en el número, materia seca y rendimiento de los tubérculos; sin embargo, los autores recomiendan usar una concentración de NO_3^- /aniones no mayor a 60/100 y una concentración de K^+ /cationes no mayor a 15/100 para la producción de papa en sistema hidropónico con sustrato fibra de coco ya que hay una menor concentración de los elementos Ca y Mg en hojas tallos por efectos antagónicos con el elemento K^+ .

Domagała-Świątkiewicz y Błaszczuk (2009) obtuvieron resultados contrastantes al evaluar el efecto de aplicaciones foliares de nitrato de calcio en árboles de manzana en dos años de producción, durante el primer año la aplicación de 0.4 y 0.8 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ no mostró efectos significativos, los valores numéricos de los tratamientos fueron menores para peso de fruto, el diámetro de fruto fue similar a la de los testigos, solo el contenido de calcio mostró valores mayores a los testigos, durante el segundo año el valor promedio de los frutos fue menor; sin embargo, los tratamientos 0.4 y 0.8 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ mostraron valores numéricos mayores en peso de fruto y diámetro de fruto y diferencia significativa en el contenido de Ca con el tratamiento de 0.8 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. La concentración de N en los frutos fue estadísticamente diferente con valores mayores en los tratamientos 0.4 y 0.8 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ con respecto a los testigos, la relación N/Ca fue estadísticamente menor con la aplicación del tratamiento 0.8 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ pero dentro del rango usual 10-20. Los autores concluyen que la aplicación de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ influyen en la firmeza del fruto y acidez titulable, la aplicación de 0.8% de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ disminuye el tiempo de maduración y el porcentaje de trastornos fisiológicos del fruto, así como el daño causado por hongos.

Peyvast *et al.* (2009) apuntan que existe un efecto positivo en la altura y biomasa seca de hojas de plantas de tomate, así como en el número, peso, biomasa seca y sólidos solubles totales de los frutos, y una mayor cantidad de mg de Ca, en la composición de frutos y hojas, utilizando dosis de 4 y 6 mmol L^{-1} de Ca aplicado por vía foliar.

Estos resultados contrastan con los obtenidos por Guzmán y Sánchez (2003) al evaluar la influencia del NO_3^- y Ca^{2+} en el desarrollo y rendimiento de tres variedades de pimiento (Danza, Masurka y Flamenco), las relaciones utilizadas fueron de 4/2.5, 8/2.5, 16/2.5, 4/5, 8/5, y 16/5 $\text{NO}_3^-:\text{Ca}^{2+}$ meq· L^{-1} en etapa de plántula y 8/5, 16/5, 32/5, 8/10, 16/10, y 32/10 $\text{NO}_3^-:\text{Ca}^{2+}$ meq· L^{-1} en etapa de postransplante. Los resultados

fueron significativos en diámetro de tallo, biomasa seca total, biomasa seca de raíz, biomasa seca de tallo, para el factor $16 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ NO}_3^-$, y con resultados significativos en biomasa seca de tallo, biomasa seca total y área foliar para el factor $32 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ NO}_3^-$ en etapa postransplante. El factor Ca^{2+} fue significativo solo en la etapa postransplante para el peso seco de tallo y peso seco total a $10 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$.

En otro estudio realizado por Villegas *et al.* (2005), se evaluó el efecto de la solución nutritiva Steiner con modificaciones en la concentración de Ca (6 meq L^{-1} , 9 meq L^{-1} y 12 meq L^{-1}) y en el potencial osmótico (-0.072 , -0.092 y -0.112 MPa) en plántulas de tomate, los resultados mostraron que la aplicación de 6 meq L^{-1} de Ca en la solución nutritiva favoreció la acumulación de los elementos P y Mg y la concentración de 12 meq L^{-1} de Ca incrementó de forma significativa la materia seca de raíz. Las concentraciones de Ca utilizadas no mostraron diferencias estadísticas en la concentración de N sin embargo, se observó una mayor acumulación de este elemento a menor concentración de Ca (6 meq L^{-1}).

En la variable área foliar (AF) se encontraron diferencias en la interacción, con una mayor área foliar en el tratamiento 10/11 ($10 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$ y $11 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ Ca}^{2+}$), y en la FT el tratamiento 12/11 ($12 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$ y $11 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ Ca}^{2+}$) presentó mayor resistencia.

Las relaciones $\text{NO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$ evaluadas en el presente trabajo mostraron un efecto en las variables AF y firmeza de tallo (FT). Thor (2019) apunta que el calcio cumple una función estructural de las paredes y membranas celulares de las plantas, estas barreras físicas sirven como defensa contra patógenos, otra función del Ca es la de segundo mensajero, el Ca se ha implicado en la señalización de la disponibilidad de nutrientes como el K, N-NO_3^- , Fe, N-NH_4^+ y boro, Liu *et al.* (2017) apuntan que existe una actividad de señalización del Ca^{2+} relacionada con la disponibilidad de nutrientes primarios específicamente nitratos, probablemente esta actividad permita optimizar la absorción del N-NO_3^- , esto permite disminuir la concentración de fertilizantes que aportan nitrógeno del tipo nítrico. La disponibilidad de N es una limitante para el crecimiento de las plantas, su participación en la síntesis de ácidos nucleicos, aminoácidos, proteínas, clorofilas y alcaloides lo hacen el elemento más requerido por

la planta (Kraiser *et al.* 2011, Cárdenas-Navarro *et al.* 2004). En otro estudio desarrollado en plantas de noche buena se observó que a una concentración de 12 meq L⁻¹ de N-NO₃⁻ las plantas tienen un consumo superior al necesario (Torres-Olivar *et al.* 2018).

Otros trabajos realizados refuerzan lo reportado, Hao y Papadopoulos (2003) evaluaron el efecto de calcio y el magnesio en el crecimiento rendimiento y calidad de frutos de tomate, la aplicación de 300/80 mg L⁻¹ de Ca y Mg incrementaron el área foliar y el peso seco de hojas y raíces de las plantas, sin embargo, estos mismos autores reportan mayor firmeza de frutos cuando se aplicaron 150 mg L⁻¹ de Ca, en otro estudio realizado por Bonomelli y Ruiz (2010) en uvas de mesa, se aplicó CaCl₂ al suelo y de forma foliar para mejorar la resistencia de los frutos y alargar la vida poscosecha, los resultados mostraron que se consiguió una mayor firmeza en frutos fertilizados en combinación de forma foliar y con aplicaciones al suelo; sin embargo, el efecto bajo resguardo en cámaras frías no fue significativo al transcurrir 30 días después del corte, además de la firmeza del fruto se midieron otras variables como rendimiento, peso de fruto, sólidos solubles totales y materia seca, solo se encontraron diferencias entre tratamientos en el contenido de materia seca con el tratamiento foliar de CaCl₂; sin embargo, estas diferencias no se observaron con el testigo. Los resultados obtenidos en esta investigación sugieren que existe un uso eficiente del NO₃⁻ que puede atribuirse a la interacción con el Ca₂⁺.

Cuadro 3. Biomasa fresca y seca de raíz, tallo y hojas, área foliar, volumen de raíz y firmeza de tallos de plantas de berro por efecto de las soluciones nutritivas con diferente concentración de nitrógeno (N-NO₃⁻) y calcio (Ca²⁺).

Niveles del factor	BFR (g)	BSR (g)	BFT (g)	BST (g)	BFH (g)	BSH (g)	AF (cm ²)	VR (mL)	FT (N)
Concentración de N-NO ₃ ⁻ (meq·L ⁻¹)									
10	60.66 a	2.53 a	82.06 a	7.73 a	74.66 a	8.33 a	906.92 a	7.37 a	18.71 a
12	65.06 a	2.46 a	86.06 a	8.53 a	73.66 a	8.53 a	812.70 a	8.04 a	20.02 a
14	65.73 a	2.60 a	85.20 a	7.80 a	73.46 a	8.13 a	864.24 a	8.09 a	18.28 a
Concentración de Ca ²⁺ (meq·L ⁻¹)									
7	67.73 a	2.60 a	78.66 b	7.66 a	68.73 b	8.0 a	770.04 a	7.84 a	18.87 a
9	61.13 a	2.60 a	86.73 ab	8.40 a	73.0 b	8.46 a	857.71 a	7.78 a	19.41 a
11	62.60 a	2.40 a	87.93 a	8.0 a	80.06 a	8.53 a	956.11 a	7.873 a	18.72 a
DMS	10.35	0.51	6.86	1.05	4.86	0.82	157.44	0.88	1.95
Interacción N-NO ₃ ⁻ Ca ²⁺ (meq·L ⁻¹)									
10/7	67.40 a	2.80 a	79.80 b	7.60 a	69.60 c	8.0 a	873.8 ab	7.17 a	18.33 ab
10/9	55.60 a	2.40 a	80.40 ab	7.40 a	72.60b c	8.40 a	854.8 ab	7.37 a	19.60 ab
10/11	59.0 a	2.40 a	86.0 ab	8.20 a	81.80 a	8.60 a	992.2 a	7.56 a	18.20 ab
12/7	68.80 a	2.60 a	77.20 b	8.0 a	69.60 c	8.40 a	713.9 b	8.15 a	19.13 ab
12/9	62.40 a	2.60 a	92.0 a	9.20 a	72.60 bc	8.40 a	812.4 ab	8.06 a	19.86 ab
12/11	64.0 a	2.20 a	89.0 ab	8.40 a	78.80 ab	8.80 a	911.8 ab	7.91 a	21.08 a
14/7	67.0 a	2.40 a	79.0 b	7.40 a	67.0 c	7.60 a	722.4 ab	8.21 a	19.17 ab

14/9	65.40 a	2.80 a	87.80 ab	8.60 a	73.80 abc	8.60 a	905.9 ab	7.91 a	18.78 ab
14/11	64.80 a	2.60 a	88.80 ab	7.40 a	79.60 ab	8.20 a	964.4 ab	8.15 a	16.87 b
DMS	17.94	0.89	11.89	1.82	8.42	1.43	272.7	1.52	3.38
CV (%)	21.91	27.60	10.97	17.72	8.88	13.38	24.68	15.18	13.90

Valores con las mismas letras entre columnas son estadísticamente iguales para los factores y la interacción entre los factores concentración de N-NO_3^- y Ca^{2+} ($\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$) (LSD $P \geq 0.05$). DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación, BFR: Biomasa fresca de raíz, BSR: Biomasa seca de raíz, BFT: Biomasa fresca de tallo, BST: Biomasa seca de tallo, BFH: Biomasa fresca de hoja, BSH: Biomasa seca de hoja. AF: Área foliar, VR: Volumen de raíz, FT: Firmeza de tallo.

5.6 CONCLUSIONES

La nutrición basada en la relación nitrato-calcio tuvo efecto sobre las plantas de berro en las variables biomasa fresca de tallo, biomasa fresca de hoja, área foliar y firmeza de tallo.

Se observó mejor efecto en los tratamientos de NO_3^- (10, 12 y 14) con dosis mayores de Ca^{2+} (9 y 11), por lo que se sugiere que existe un uso eficiente del NO_3^- que puede atribuirse a la interacción con el Ca^{2+} en el cultivo de berro producido bajo condiciones de hidroponía y cubierta plástica.

5.7 LITERATURA CITADA

- Bonomelli, C. y R. Ruiz. 2010. Effects of foliar and soil calcium application on yield and quality of table grape cv. 'thompson seedless'. *Journal of Plant Nutrition* 33:299–314.
- Cárdenas-Navarro, R.; J. M. Sánchez-Yáñez; R. Farías-Rodríguez; y J. J. Peña-Cabriales. 2004. Los aportes de nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 10(2):173-178.
- Crisóstomo, C. M. N.; R. O. A. Hernández; M. J. López; C. Manjarrez-Domínguez; y A. Pinedo-Alvárez. 2014. Relaciones amonio/nitrato en soluciones nutritivas ácidas y alcalinas para arándano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(3):525-532.
- Domagała-Świątkiewicz, I.; y J. Błaszczyk. 2009. Effect of calcium nitrate spraying on mineral contents and storability of 'Elise' apples. *Polish J. of Environ. Stud.* 18:5 971-97.
- Fageria, V. D. 2001. Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition* 24(8): 1269-1290.
- Fennell, F. M. J. 2006. Potential for watercress production in Australia. Rural Industries Research and Development Corporation. Australia. 66 p.
- Forde, B. G. B.; y T. D. Clarkson. 1999 Nitrate and Ammonium Nutrition of Plants: Physiological and Molecular Perspectives. *Advances in Botanical*. Vol. 30 90p.
- Guzmán, M. y A. Sánchez. 2003. Influence of Nitrate and Calcium Increments on Development, Growth and Early Yield in Sweet Pepper Plants. *Acta Hort* 609: 207-211.
- Hao, X. y A. P. Papadopoulos. 2003. Effects of Calcium and Magnesium on Growth, Fruit Yield and Quality in a Fall Greenhouse Tomato Crop Grown on Rockwool. *Canadian Journal of Plant Science* 83: 903-912.
- Hepler, P. K. 2005. Calcium: a central regulator of plant growth and development. *The Plant Cell Online*, 17(8): 2142-2155.

- Kraiser, T.; D. E. Gras; A. G. Gutiérrez; B. González; y R. A. Gutiérrez. 2011. A holistic view of nitrogen acquisition in plants. *Journal of Experimental Botany* 62(4):1455–1466.
- Liu, K.; Y. Niu; M. Konishi; Y. Wu; H. Du; H. S. Chung; L. Li; M. Boudsocq; M. McCormack; S. Maekawa; T. Ishida; C. Zhang; K. Shokat; S. Yanagisawa; y J. Sheen. 2017. Discovery of nitrate–CPK–NLP signalling in central nutrient–growth networks. Macmillan Publishers Limited, part of Springer Nature.
- Marschner, P. 2012. Mineral Nutrition of higher plants Third edition. Academic Press. Estados Unidos de América. 651 p.
- Parra, T. S.; C. W. Rubio; V. S. Hernández; P. P. Sánchez; y P. R. Preciado. 2018. Nitrate/potassium interaction in the nutrient solution and potato yield in hydroponics *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9:5.
- Parra-Terraza, S.; E. Salas-Núñez; M. Villarreal-Romero; S. Hernández-Verdugo; y P. Sánchez-Peña. 2010. Relaciones nitrato/ amonio/ urea y concentraciones de potasio en la producción de plántulas de tomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16(1): 37-47.
- Patil, S. T.; U. S. Kadam; M. S. Mane; D. M. Mahale; y J. S. Dekale. 2020. Hydroponic nutrient solution: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 9(5): 2095-2099.
- Peyvast, G.; J. A.; Olfati; P. Ramezani-Kharazi; y S. Kamari-Shahmaleki. 2009. Uptake of calcium nitrate and potassium phosphate from foliar fertilization by tomato. *Journal of Horticulture and Forestry* 1:007-013.
- Rietra, R. P. J. J.; M. Heinen; C. O. Dimkpa; y P. S. Bindraban. 2017. Effects of nutrient antagonism and synergism on yield and fertilizer use efficiency. *Communications in soil science and plant analysis* 48 (16):1895–1920.
- Sambo, P.; C. Nicoletto; A. Giro; Y. Pii; F. Valentinuzzi; T. Mimmo; P. Lugli ; G. Orzes; F. Mazzetto; S. Astolfi; R. Terzano; y S. Cesco. 2019. Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective. *Frontiers in Plant Science*. 10(923) 1-17.
- Shrestha, J.; M. Kandel; S. Subedi; y K. K. Shah. 2020. Role of nutrients in rice (*Oryza sativa* L.): a review. *Agrica* 9:53-62.

- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. pp. 633-650. In: Proceedings 6th International Congress on Soils Culture. Wageningen, The Netherlands.
- Thor, K. 2019. Calcium - nutrient and messenger. *Front. Plant Sci.* 10:440.
- Torres-Olivar, V.; O. G. Villegas-Torres; L. A. Valdez-Aguilar; I. Alia-Tejacal; V. López-Martínez; y L. I. Trejo-Téllez. 2015. Respuesta de la nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) a la relación nitrato:calcio en tres etapas fenológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 12: 2345-2357.
- Torres-Olivar, V.; O. G. Villegas-Torres; L. A. Valdez-Aguilar; I. Alia-Tejacal; M. J. Sainz-Aispuro; A. Hernández-Pérez. 2018. Crecimiento y extracción nutrimental de nochebuena en respuesta a la relación nitrato:calcio y etapa fenológica. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9:3.
- United States Department of Agriculture (USDA). 2021. Información nutrimental del berro. <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list> (Agosto 2021).
- Villegas-Torres, O. G.; P. Sánchez-García; G. A. Baca-Castillo; M. N Rodríguez-Mendoza; C. Trejo; M. Sandoval-Villa; y E. Cárdenas-Soriano. 2005. Crecimiento y estado nutrimental de plántulas de tomate en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio y potencial osmótico. *Terra Latinoamericana* 23:1 49-56.
- Zhang, Y.; X. Lin; Y. Zhang; S. J. Zheng; y S. Shaoting Du. 2005. Effects of nitrogen levels and nitrate/ammonium ratios on oxalate concentrations of different forms in edible parts of spinach. *Journal of Plant Nutrition*, 28: 2011–2025.

CONCLUSIONES GENERALES

Se obtuvo información sobre el sistema de producción de berro en el estado de Morelos, se detectaron problemas sociales, así como un rezago tecnológico en los ejidos productores de Cuautla (Cuautla, Cuautlixco y Santa Inés).

Mediante el muestreo en campo se determinó la concentración elemental del berro producido en los cuatro sitios de los ejidos de Cuautla y Cuautlixco y la calidad del agua utilizada en esos cuatro sitios. Lo que permitió establecer un sistema de producción de planta madre de berro donde se tuvieron y corrigieron deficiencias en la producción de berro, la concentración de la solución nutritiva y el control de plagas fueron los factores que se detectaron al iniciar con la presente investigación.

La concentración de la solución nutritiva para el cultivo de berro hidropónico bajo cubierta plástica, debe ser menor al 50 % de la concentración original de la solución universal Steiner, con un pH deseable de 6 o que se encuentre entre un rango de 5.5 a 6.5. y una concentración de hierro de 7 mg L^{-1} .

En la relación nitrato-calcio (NO_3^- y Ca^{2+}) dosis de 10 y 12 $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ de N-NO_3^- con 9 y 11 $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}\text{Ca}^{2+}$, favorecen el crecimiento de plantas de berro en variables como el área foliar, peso fresco de hojas y tallos, así como firmeza del tallo.

La información generada durante toda esta investigación establece las bases para la producción de berro en sistema hidropónico, bajo cubierta plástica en la ciudad de Cuernavaca Morelos, México.

ANEXOS



Siembra de berro en el ejido de Cuautlixco, Morelos.



Sistema hidropónico para la producción de berro



Plagas encontradas en berro, áfidos y palomilla dorso de diamante



Berro producido en sistema hiropónico

Artículo Científico



Rev. Fitotec. Mex. Vol. 43 (4-A): 543 - 548, 2020

PRODUCCIÓN DE BERRO EN CUAUTLA, MORELOS, MÉXICO

WATERCRESS PRODUCTION IN CUAUTLA, MORELOS, MEXICO

Miguel F. Medellín-Muñoz¹, Oscar G. Villegas-Torres^{1*}, Hugo A. Saldarriaga-Noreña²,
María Andrade-Rodríguez¹, Héctor Sotelo-Nava¹ y Francisco Perdomo-Roldán³

¹Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México. ²Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Centro de Investigaciones Químicas, Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México. ³Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc, Xalostoc, Ayala, Morelos, México.

*Autor para correspondencia (voscar66@yahoo.com.mx)

Cuernavaca, Morelos, 15 de noviembre de 2021.

Asunto: Voto Aprobación de Tesis.

MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESÉNDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS.
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DEL BERRO (*Nasturtium officinale* R. Br.) Y RESPUESTA A DIFERENTES SOLUCIONES NUTRITIVAS EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO**, que presenta el **M. en C. MIGUEL FELIPE MEDELLIN MUÑOZ**, mismo que fue desarrollado bajo la Codirección del **DR. OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES** y del **Dr. HUGO ALBEIRO SALDARRIAGA NOREÑA**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DRA. MARÍA ANDRADE RODRÍGUEZ
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

MARIA ANDRADE RODRIGUEZ | Fecha:2021-11-16 18:00:37 | Firmante

gMh07ITi21Ngd8+mTJBv2cQV7KrxrSZg1MbFC8jkHRdV2ucp1c+akrzEUcl1EzIFa0nhXSmYsmyL1JPq0xjRwg3lu2trUFNyAq6AtOe1fJIWbsyF5rCn47GYKJGq+hH8uT32Llr3ZJ28kppSem1WAHTSr2iBqEgSiUECKIJ8CchbFs67Z7ugcPAn7folDPdAbA5aUJoJkGVVtn7Gjp/h/lo3jrXoJhD6QtO9z7miSajsV2es1tIWHvb4AI/WXA/2KFJ9jam+DyhYfP5FwVKo52YnPPhtlSkY3Qv7/CY9y/r1OhlpJaD6gHRXKqeYEAmpHoB5sv6HmDgogjZy9p6IA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[ZDKBivXIO](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/J73Gglmwe4VbHfuldtdmz3Q9V79nY8yr>



Cuernavaca, Morelos, 15 de noviembre de 2021.

Asunto: Voto Aprobación de Tesis.

MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESÉNDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS.
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DEL BERRO (*NASTURTIUM OFFICINALE* R. BR.) Y RESPUESTA A DIFERENTES SOLUCIONES NUTRITIVAS EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO** que presenta el **M. en C. MIGUEL FELIPE MEDELLIN MUÑOZ**, mismo que fue desarrollado bajo mi dirección con el **DR. HUGO ALBEIRO SALDARRIAGA NOREÑA**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 3304. fagropecuarias@uaem.mx



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES | Fecha:2021-11-12 13:12:43 | Firmante

T/gqVEpL0BSxjzL08AFs7YZiZwXSH3xrISGH1wN5U/sfE38UpuYMfXCkZVDd0M8FK/ckWjrlCSdsf6PDhqERSdJYRq5+zGIDyYCMpLNNpSrVXoSe+2TxBVOXJbhyy+2/QgyX40WzdtYtOPcVf4oX+e9PFUDTLPT/GmnDhBdLti/8igT8TMQ6g+e4SRqvsA1qjloYRH1AkD7VPbJhXFAHEHngN8034Sun9sTHDJfLoia8U5okB4DFAgYHj7vu2ymy9oBhCIZsuqdo6H9x6p77ssiVhMv+uMywohu5OUAWWh3DF55n6AYZt60yyyNtQusBcbKINPjUkmKQKgf3LinHgHw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[HXrBVIJE3](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/hLxTBV8ViLRQV1KGqBsXmEyXoV83NVAY>



Cuernavaca, Morelos, 15 de noviembre de 2021.

Asunto: Voto Aprobación de Tesis.

MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESÉNDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS.
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado:
**CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DEL BERRO (*Nasturtium officinale* R. Br.) Y
RESPUESTA A DIFERENTES SOLUCIONES NUTRITIVAS EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO,**
que presenta el **M. en C. MIGUEL FELIPE MEDELLIN MUÑOZ**, mismo que fue desarrollado bajo
la Codirección del **DR. OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES** y del **Dr. HUGO ALBEIRO
SALDARRIAGA NOREÑA**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctor
en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi
VOTO DE APROBACIÓN para que el alumno continúe con los trámites necesarios para
presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. HÉCTOR SOTELO NAVA
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

HECTOR SOTELO NAVA | Fecha:2021-11-18 16:48:28 | Firmante

IMgGH1HA4nwih5MEfNly/wBE51HwLmGfNGPCetfq4+tpxMMY0XFuwogGtzaVdEc5AgwqEWYAWeIC0s5tYU9uTBWVlyZQzGOpSRkGGxmDSYK65N5UMJ8Fxz/8scsjhprv1mn
PSPtBq0VFO7HyZ7zsoAL4vYxr3EbPYj2/xXsldFD8MLB5aHrP2QNpuAG2MCvZDN1cO8tGghIhqTFRWfIUfzc439hPkNw+fzt/NsKWSi/ELbc+b6TH+Zil6OnUeZn8NaJqsFuBPh/x
S+66DVB1zDrQH26NOdwkLJ61hMydIE4/+0/bAPyBKlb453v0M709j2f/J+iOME83W7SOAxPnw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[4am7hTdJK](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/8ewl4ZAfBPrs12X97RaQKLc4KqLQdXmw>





Cuernavaca, Morelos, 03 de noviembre de 2021.

Asunto: Voto Aprobación de Tesis.

**MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESENDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS.
P R E S E N T E.**

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **“CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DEL BERRO (*Nasturtium officinale* R. Br.) Y RESPUESTA A DIFERENTES SOLUCIONES NUTRITIVAS EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO”** que presenta el: **M. C. MIGUEL FELIPE MEDELLIN MUÑOZ**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES** y la Codirección del **DR. HUGO ALBEIRO SALDARRIAGA NOREÑA** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

DR. PORFIRIO JUAREZ LOPEZ
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

PORFIRIO JUAREZ LOPEZ | Fecha:2021-11-03 20:29:10 | Firmante

PHsddRCphKYlu64i8e+EdidMQHJXKSc27fHuohisMkixww+FQ18/BiG45LOTBUAj3CTUg3mR8HCk8+wLKIWF7FCUeuvJvsNvwy5siyAcxU5bmnsOkDadWwzAlrRuPOHrCZGaC27lJruA8ZXWgrYMxibEIfv4MWDBo27zXhLlCLZTAlrVuFJOryTAtYjl+PL0/URAkKbHVQNchauR07UKDes+AHuvenUMR8Z6TSEL+KXbWmVXJym2EVLxn+ZVx9fp0KFnGWSG UrfzCwxVew/JjmqljwaQftkRu+9y9tZFE/HXrw8Jyxyp/vYHVx9nADH0EInGwfHk9XqO4CMSuflQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



QFkJZUnA6

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/uTPSsR9n3e3h9cETVCbkoW4FIfimrrJf>



Cuernavaca, Morelos, 15 de noviembre de 2021.

Asunto: Voto Aprobación de Tesis.

MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESÉNDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS.
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DEL BERRO (*Nasturtium officinale* R. Br.) Y RESPUESTA A DIFERENTES SOLUCIONES NUTRITIVAS EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO**, que presenta el **M. en C. MIGUEL FELIPE MEDELLIN MUÑOZ**, mismo que fue desarrollado bajo la Codirección del **DR. OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES** y del **Dr. HUGO ALBEIRO SALDARRIAGA NOREÑA**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. EDGAR MARTÍNEZ FERNÁNDEZ
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

EDGAR MARTINEZ FERNANDEZ | Fecha:2021-11-15 21:59:19 | Firmante

VzGVFN7daWa+C7d4dRQAewTUC5juJM7Lr6mPizzcef9BeHSM2dVExzVRKqWy3qFPrgfGB02Uq5er6DwCxObWh1+/m/ny9IYbZy9zFEkb8lz6+5y5yiRnEXuMYuHtMCdLnBBklq
eEwAn2g3Gv9BiiIqRqXcx/UoT8xLMj0VOEzvvJ7yhd4fawNKzqYLeLgzF0RN36M56ZPr/ogXPEWfqRjkKtgzTUGNgck5XSibxtpP5eZtZTfj+En1yBgqFVL8KI9SmDooGjGsWIIWiq
ppSMp5mlDyMFy4MLd1nft/hxMbM8ZYEta3r/qQTyhV2ajNktLwSQve45hiw1h4x4x8atVw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[thrDLFuEZ](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/ZA0iNV7OvxkQUQfAtAXSLS7gGojjqDNG>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

JEFATURA DE PROGRAMAS EDUCATIVOS DE POSGRADO

Cuernavaca, Morelos, 15 de noviembre de 2021.

Asunto: Voto Aprobación de Tesis.

MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESÉNDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS.
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DEL BERRO (*Nasturtium officinale* R. Br.) Y RESPUESTA A DIFERENTES SOLUCIONES NUTRITIVAS EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO**, que presenta el **M. en C. MIGUEL FELIPE MEDELLIN MUÑOZ**, mismo que fue desarrollado bajo la Codirección del **DR. OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES** y del **Dr. HUGO ALBEIRO SALDARRIAGA NOREÑA**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. ALEXANDRE TOSHIRICO CARDOSO TAKETA
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 3304. fagropecuarias@uaem.mx



Una universidad de excelencia

RECTORÍA
2017-2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

ALEXANDRE TOSHIRICO CARDOSO TAKETA | Fecha:2021-11-02 23:17:04 | Firmante

bTYa3uOp14Vng8oJG/7ebDOyxnrpn4/xlOvz70WJkQObNad5/XwjhRVATSqkTp6t5obR6H9SPRz7E/Tam0JWksJgBaYuH7OQkXJ9od3cb9ZyDWy1G5aFcZ6C5QqyU/SGXrMJxOrkpv88+ODXGX5hAfs+wpU+tV6vcKdjt08sDbk+aOZaL1YNZgcRcg92LrK+OsHUxFzIRYOY6LypSuRxNDL8DkvgJflcXCGUjQ/vQ+SRquu1f1v2vcpL+8l1cn94Akbn1HraTz1WUo39GKRKjaQE3szUMShELQcb1i6asDRufrdemjltx2035j5Q61+ehw1wYMQ5boQixM4VptXg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[rUm2sxxwJ4](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/KGGeAbUSI1HKPDYCbDpS2hoRG3wNai3x>



Cuernavaca, Morelos, 15 de noviembre de 2021.

Asunto: Voto Aprobación de Tesis.

MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESÉNDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS.
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DEL BERRO (*Nasturtium officinale* R. Br.) Y RESPUESTA A DIFERENTES SOLUCIONES NUTRITIVAS EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO**, que presenta el **M. en C. MIGUEL FELIPE MEDELLIN MUÑOZ**, mismo que fue desarrollado bajo la Codirección del **DR. OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES** y del **Dr. HUGO ALBEIRO SALDARRIAGA NOREÑA**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. FRANCISCO PERDOMO ROLDÁN
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

FRANCISCO PERDOMO ROLDAN | Fecha:2021-11-06 15:30:37 | Firmante

vLKol9qBaK/Webndnu3NroypSc0y1PmG8dk5Td2C3L0xmD/PedG+FO3bQi4+nzBZ0J56UdD6Fd01c5zotlPUN4m96gwEFx7o9SHoPvv6X6O+FsapOyFFxztawJf6OdUy328M/QPACBAhJqPz9F2lExvg4afY7JUF59dtTHn8eccsP4sjAWoDQruwPgDGBrxpaMK4P3vQk1ex84tButMbzY0B87Hg71u3nOWgt4FMym7Vy34gGS7V1yWlav4wRE+YQOCbK7QJTyJbaTP6QJux9r81S8fhPnVtnidWV2xRDsVAqej8+YQAgk5uvx+RN3FTJqx2vvnLfini0b+Y83u+w==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[EPjhKb9Yo](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/0R4cqyUXCaJsQ5oQi0w0FqgLx2eFMypi>

