

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“IONES FERRATO EN LA PRODUCCIÓN Y CONCENTRACIÓN
DE METALES PESADOS EN LECHUGA (*Lactuca sativa* L.)
EN LA MOLINA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

ANGEL JAVIER CHAMBERGO CENTURIÓN

LIMA – PERÚ

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

“IONES FERRATO EN LA PRODUCCIÓN Y CONCENTRACIÓN DE
METALES PESADOS EN LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) EN LA
MOLINA”

ANGEL JAVIER CHAMBERGO CENTURIÓN

Tesis para optar el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

.....
Ing. Mg. Sc. Braulio La Torre Martínez
PRESIDENTE

.....
Ing. M.S. Andrés Virgilio Casas Díaz
ASESOR

.....
Ing. Mg. Sc. Juan Carlos Melchor Jaulis
Cancho
MIEMBRO

.....
Ing. Mg. Sc. Sarita Maruja Moreno
Llacza
MIEMBRO

LIMA - PERÚ

2020

DEDICATORIA

A mis padres, en especial a mi madre que hizo todo para que yo pudiera lograr mis metas.

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios, por hacer posible este objetivo y que pueda disfrutar al lado de toda mi familia.

Un agradecimiento a la Universidad Nacional Agraria La Molina la cual llevo en el corazón. A la facultad de Agronomía, que con mucho orgullo la representaré.

Al Ing. M. S. Andrés Casas por confiar en mí y brindarme su apoyo para el inicio y la culminación de este trabajo.

Al Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA por haberme permitido aprender y compartir de personas de incalculable valor.

Finalmente, a todas aquellas personas, colegas y amigos que me brindaron su apoyo, tiempo e información para el logro de mis objetivos.

ÍNDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1 CULTIVO DE LECHUGA (<i>Lactuca sativa</i> L.)	2
2.1.1 Origen	2
2.1.2 Taxonomía	2
2.1.3 Morfología	3
2.1.4 Condiciones agroecológicas	3
a. Clima	3
b. Suelo	4
c. Agua	4
2.1.5 Variedades y Cultivares	4
2.1.6 Producción mundial y nacional	5
2.1.7 Manejo del cultivo	6
a. Preparación del Terreno	6
b. Siembra	6
c. Trasplante	7
d. Fertilización	7
e. Control de malezas	8
f. Plagas y Enfermedades	8
g. Cosecha	9
2.2 ION FERRATO	10
2.2.1 Usos del ion ferrato	11
2.2.2 Producción del ion ferrato	11
2.3 METALES PESADOS	12
2.3.1 Efecto de los metales sobre hortalizas	13
III. METODOLOGÍA	14
3.1 MATERIALES	14
3.1.1 Ubicación	14
3.1.2 Suelo	14
3.1.3 Clima	15
3.1.4 Agua	15
3.1.5 Iones ferrato	16
3.1.6 Cultivo	17
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS	17
3.3 METODOS Y PROCEDIMIENTOS	18
3.3.1 Almácigo	18
3.3.2 Preparación del terreno	18
3.3.3 Colocación de cintas de riego	18
3.3.4 Producción de Iones Ferrato	18

3.3.5 Trasplante	19
3.3.6 Riego	19
3.3.7 Desmalezado	19
3.3.8 Control fitosanitario	19
3.3.9 Cosecha	19
3.4 FACTORES EN ESTUDIO	20
3.4.1 Tratamientos	20
3.4.2 Diseño experimental	20
3.5 VARIABLES EVALUADAS	21
3.5.1 Rendimiento	21
3.5.2 Calidad Externa	22
3.5.3 Materia seca	22
3.5.4 Análisis de metales pesados	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
4.1 RENDIMIENTO	23
4.2 CALIDAD EXTERNA	24
a. Peso promedio	24
b. Diámetro	25
c. Altura	26
d. Número de hojas	27
4.3 PORCENTAJE DE MATERIA SECA	28
4.4 METALES PESADOS	29
a. Arsénico	29
b. Cadmio	30
c. Cromo	31
d. Plomo	32
V. CONCLUSIÓN	34
VI. RECOMENDACIONES	35
VII. BIBLIOGRAFIA	36
VIII. ANEXOS	43

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Producción mundial de lechuga	5
Tabla 2: Fertilización en lechuga	7
Tabla 3: Principales plagas del cultivo de lechuga	8
Tabla 4: Principales enfermedades en el cultivo de lechuga	9
Tabla 5: Clasificación de lechuga tipo iceberg en base a peso y diámetro	10
Tabla 6: Características físico-químico del suelo en estudio	14
Tabla 7. Datos meteorológicos	15
Tabla 8: Concentración promedio de As, Cd, Cr y Pb en el agua de riego sin tratar y tratada con iones ferrato	16
Tabla 9: Conductividad eléctrica y pH de agua de riego sin tratar y tratada con iones ferrato	16
Tabla 10: Dosificación de Insumos químicos	17
Tabla 11: Tratamientos del ensayo. La Molina, 2019	20
Tabla 12: Listado de tratamiento y aleatorización de los mismos	20
Tabla 13: Cuadro ANVA (DBCAs) de tres tratamientos y cuatro repeticiones	21
Tabla 14: Rendimiento de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.) cv. Great Lakes 659	23
Tabla 15: Calidad externa de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.) cv. Great Lakes 659	25
Tabla 16: Porcentaje de materia seca en lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.) cv. Great Lakes 659	28
Tabla 17: Concentración promedio de metales pesados en hojas de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.) cv. Great Lakes 659	29

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Estructura tetraédrica del Fe (VI)	11
Figura 2: Rendimiento (Tn/ha) en función de los Iones ferrato en el agua	24
Figura 3: Peso promedio de lechuga en función de Iones ferrato en el agua	25
Figura 4: Diámetro de lechuga en función de Iones ferrato en el agua	26
Figura 5: Altura de lechuga en función de Iones ferrato en el agua	27
Figura 6: Número de hojas de lechuga en función de Iones ferrato en el agua	28
Figura 7: Porcentaje de materia seca en función de Iones ferrato en el agua	29
Figura 8: Concentración promedio de Arsénico en lechuga en función de Iones ferrato en el agua	30
Figura 9: Concentración promedio de Cadmio en lechuga en función de Iones ferrato en el agua	31
Figura 10: Concentración promedio de Cromo en lechuga en función de Iones ferrato en el agua	32
Figura 11: Concentración promedio de Plomo en lechuga en función de Iones ferrato en el agua	33

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1: Datos climatológicos mes a mes del año 2019	43
ANEXO 2: Cronograma de actividades en la lechuga. La Molina, 2019	47
ANEXO 3: Concentración promedio de metales pesados en el agua de riego sin tratar y tratada con iones ferrato	48
ANEXO 4: Datos de metales pesados en las muestras de lechuga	49
ANEXO 5: Análisis de varianza (ANVA) para la variable rendimiento (Tn/ha)	51
ANEXO 6: Análisis de varianza (ANVA) para la variable peso promedio (g)	52
ANEXO 7: Análisis de varianza (ANVA) para la variable diámetro (cm)	53
ANEXO 8: Análisis de varianza (ANVA) para la variable altura (cm)	54
ANEXO 9: Análisis de varianza (ANVA) para la variable número de hojas	55
ANEXO 10: Análisis de varianza (ANVA) para la variable materia seca (%)	56
ANEXO 11: Análisis de varianza (ANVA) para la variable metales pesados As, Cd, Cr y Pb (mg/kg)	57

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de iones ferrato sobre la producción y concentración de metales pesados en el cultivo de lechuga, debido a un aumento en la contaminación de aguas de riego agrícola afectando la inocuidad de los alimentos. Se instaló un ensayo en el periodo agosto a octubre del 2019 en el lote 19 del Centro Experimental La Molina del Instituto Nacional de Innovación Agraria. El diseño experimental usado fue un Diseño de Bloques Completamente al Azar con cuatro repeticiones. Se regaron las plantas con diferente concentración de iones ferrato en el agua: 0; 21 y 42 ml/m³; manteniendo en capacidad de campo a través de un tensiómetro instalado en las parcelas.

Se evaluaron características de rendimiento (Tn/ha) y de calidad externa: peso, número de hojas, altura, diámetro de cabeza y porcentaje de materia seca, así como la concentración de metales pesados en hojas de lechuga: As, Cd, Cr y Pb. Los resultados muestran un mejor rendimiento y mejores características de calidad con ninguna concentración de iones ferrato en el agua, mientras que a mayor concentración de iones ferrato sí reduce la concentración de metales de As y Cr en lechuga, pero no de Cd y Pb. Se concluye que los iones ferrato aplicados en el agua de riego al cultivo de lechuga, bajo las condiciones de La Molina, no es conveniente, en términos de producción.

Palabras clave: iones ferrato, metales pesados, lechuga.

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to determine the effect of ferrate ions on the production and concentration of heavy metals in lettuce cultivation, due to an increase in the contamination of agricultural irrigation waters affecting food safety. A trial was installed in the period August to October 2019 in lot 19 of the La Molina Experimental Center of the National Institute of Agricultural Innovation. The experimental design used was a Completely Random Block Design with four repetitions. Plants with different concentrations of ferrate ions in the water were watered: 0; 21 and 42 ml / m³; maintaining in field capacity through a tensiometer installed in the plots. Performance characteristics (Tn / ha) and external quality were evaluated: weight, number of leaves, height, head diameter and percentage of dry matter, as well as the concentration of heavy metals in lettuce leaves: As, Cd, Cr and Pb. The results show better performance and better quality characteristics with no concentration of ferrate ions in the water, while the higher concentration of ferrate ions does reduce the concentration of As and Cr metals in lettuce, but not Cd and Pb. It is concluded that ferrate ions applied in irrigation water to lettuce cultivation, under La Molina conditions, is not convenient, in terms of production.

Keywords: ferrate ions, heavy metals, lettuce

I. INTRODUCCIÓN

La producción de hortalizas es esencial en la alimentación y nutrición de la población. Dentro de estas hortalizas, la lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el Perú, es uno de los cultivos no tradicionales, que tiene una gran importancia en la costa y sierra, debido al buen desarrollo del cultivo y por ser una de las hortalizas más consumidas en nuestro país (La Rosa, 2015).

Los cultivos absorben numerosos elementos del suelo, algunos de ellos llamados esenciales porque son necesarios para que la planta cumpla su ciclo de vida, otros metales de transición como el aluminio que han demostrado tener un efecto estimulante sobre el crecimiento de las plantas, pero no son considerados esenciales (Ghanati et al., 2005). Navarro et al. (2007), han documentado que las plantas también absorben elementos que no tienen una función biológica conocida e incluso se sabe que son tóxicas en bajas concentraciones. Entre estos se encuentran el arsénico, el cadmio, el cromo, el mercurio y el plomo. El nivel de acumulación de estos elementos difiere entre las especies y dentro de ellas (Edelstein & Ben – Hur, 2017).

Lee et al. (2009), han demostrado que el ion ferrato es altamente eficiente en la remoción de contaminantes recalcitrantes (fármacos, colorantes, herbicidas, plaguicidas, metales pesados, materia orgánica) y según Villanueva et al. (2009) también actúa como un oxidante, coagulante y agente antibacterial.

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto de iones ferrato aplicados en el agua de riego sobre la producción y concentración de metales pesados en el cultivo de lechuga bajo condiciones de La Molina.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.)

2.1.1 Origen

El origen de la lechuga (*Lactuca sativa*) no está muy claro. Se afirma que procede de la India, mientras que otros la sitúan en las regiones templadas de Eurasia y América del Norte, a partir de la especie *Lactuca serriola* (Vera, 2008), dado que, los cromosomas entre estas dos especies son muy similares y no tienen ningún problema en cruzarse (de Vries, 1997). Conocida por egipcios, sumerios, persas, romanos y griegos, tratándose de una planta cultivada desde hace muchos años, con testimonios escritos de que los romanos conocían diferentes variedades, así como diversas técnicas de cultivo. Existen diferentes variedades de lechuga cultivadas actualmente las cuales son el producto de una hibridación entre especies distintas según Lakshmi (2009) citado por La Rosa (2015).

2.1.2 Taxonomía

La lechuga pertenece a la familia dicotiledónea más grande como es la Asteraceae, presentando una gran diversidad, principalmente por los diferentes tipos de hojas y hábitos de crecimiento de las plantas.

Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2018) (USDA por sus siglas en inglés), la taxonomía de la lechuga es la siguiente:

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Superdivisión	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae
Género	<i>Lactuca</i>
Especie	<i>Lactuca sativa</i> L.

2.1.3 Morfología

Es una planta herbácea anual de autopolinización. Su raíz es pivotante y muy ramificado alcanzando una profundidad de hasta 30 cm e incluso llegar hasta los 35 cm de profundidad en riego por goteo (Gonzales & Zepeda, 2013). El tallo es corto y acaule, es decir es pequeño, sin embargo, una vez iniciada la etapa reproductiva se produce un alargamiento del cual en su ápice surgirán las flores de la lechuga (Maroto & Baixauli, 2017). Las hojas se caracterizan por ser sésiles, distribuidas en forma de roseta densa alrededor del tallo. Dependiendo del cultivar, el desarrollo de la roseta puede continuar durante el desarrollo vegetativo, formar una cabeza redondeada o elongada. Así mismo, tanto las hojas como el borde de los limbos y el color son determinadas por la variedad y cultivar (Jaramillo et al., 2014).

2.1.4 Condiciones agroecológicas

a. Clima

Se desarrolla mejor a una temperatura media de 18°C y es tolerante a las bajas temperaturas. Para un desarrollo normal de la planta, es necesario que la temperatura durante la fase de crecimiento oscile entre los 20 y 24°C (Saavedra, 2017).

La temperatura alta, principalmente aquella que supera los 30°C, es el factor más importante que afecta negativamente en la germinación y en el desarrollo del cultivo, limitando el crecimiento (Goites, 2008).

b. Suelo

La lechuga es un cultivo que se adapta a cualquier tipo de suelo, aunque prefiere los suelos ligeros con buen drenaje para evitar problemas de pudrición de raíces y asfixia radicular, con un pH oscilando entre los 6.8 y 7.4. Según Eda et al. (2009), el pH óptimo es entre 5.5 – 6.5 en donde habrá una mejor disponibilidad de nutrientes.

Además, el suelo debe contener medios-altos de fósforo asimilable (50 – 60 ppm) y de K⁺ (650-800 ppm) y una conductividad eléctrica en extracto de saturación del suelo menor de 3.5 dS/m. Un buen contenido de materia orgánica bien degradada ayuda a soportar problemas de salinidad (Rincón, 2008).

c. Agua

La lechuga es muy sensible a la pérdida de agua, debido que tiene una gran superficie expuesta al ambiente; los síntomas de pérdida de agua se reflejan como pérdida de firmeza y turgencia en las hojas, por lo que se debe mantener la humedad del suelo a capacidad de campo y una humedad relativa de 68 a 70% (Cerdas & Montero, 2004).

2.1.5 Variedades y Cultivares

Según López (2016) y Saavedra (2017), mencionan las siguientes variedades y cultivares:

-*Lactuca sativa* var. *capitata*: Son las lechugas conocidas como de amarra, mantecosas o españolas; las hojas son intensas que forman un cogollo amarillento al envolver a las más nuevas con ciclos entre 50-70 días. Los cultivares representativos de esta variedad son las llamadas Milanesa, Francesa, Reina de Mayo y Española.

-*Lactuca sativa* var. *crispa*: Sus hojas suelen ser anchas, formando un cogollo (lechuga de cabeza). Las lechugas de esta variedad son de mayor tamaño, llegando a pesar más de 1 kg. Los cultivares más representativos son los siguientes: Great Lakes 659, Climax, Salinas, Great Lakes 118 y Vanguard.

-*Lactuca sativa* var. *longifolia*: Corresponden a las lechugas llamadas romanas. La planta desarrolla hojas grandes y oblongas alcanzando los 20 y 30 cm de largo y 6 a 10 cm de

ancho. Por su disposición directa puede llegar a pesar 2 kg. Romabella, Oreja de mulo y Parris Island vienen hacer sus cultivares.

-*Lactuca sativa* var. *inybarcea*: Son aquellas lechugas que presentan hojas sueltas y dispersas. Son ideales para recolectar a poco por hojas y sin cortar la planta, debido que sufren un rápido deterioro de postcosecha. Los cultivares de mayor importancia son: Lollo rossa y Red Salad Bowl.

2.1.6 Producción mundial y nacional

Según FAO (2018) citado por Yucra (2019), en los últimos 10 años, la producción mundial de lechuga ha aumentado en 3 073 millones de kilogramos. China encabeza la lista de productores de esta hortaliza, produciendo 14 928 millones de toneladas en el año 2016 (Tabla 1), esto quiere decir que el país asiático produjo un 55.75 por ciento del total mundial. Seguido de Estados Unidos y por India con 4 073 y 1.089 millones de kg respectivamente. Con respecto a América del sur los principales productores de lechuga son Chile con 83 320 mil toneladas, ubicándose a nivel mundial en el puesto 19 y Colombia en el puesto 22 con una producción de 78 713 mil toneladas y Perú produjo un total de 73 559 mil toneladas.

Tabla 1: Producción mundial de lechuga

País	Producción (t)
China	14 928 768
EE.UU.	4 073 530
India	1 089 025
España	930 081
Italia	735 967
Japón	586 000
Irán	528 533
Turquía	478 442
México	439 831
Alemania	333 034

Fuente: FAO (2018)

Respecto a la producción en el Perú, según MINAGRI (2018), la producción nacional de lechuga fue de 74 099 toneladas en una superficie de 7 mil ha. Las regiones con mayores producciones son Lima con 28 610 mil toneladas. Por otro lado, la región con mayor superficie sembrada es Lima con área de 4 267 ha respectivamente.

Las regiones con mayores rendimientos son La Libertad con 26 t ha⁻¹, Junín con 24 t ha⁻¹, Lima con 21 t ha⁻¹, Tacna con 19 t ha⁻¹ y Arequipa con 16 t ha⁻¹ (MINAGRI, 2018).

2.1.7 Manejo del cultivo

a. Preparación del terreno

Según Suquilanda (2003) citado por Baca (2015) indica que la primera labor es el arado, lo cual se debe realizar 30 días antes del trasplante a una profundidad de 30 cm, con la finalidad de airear el suelo y exponer larvas, pupas y adultos de insectos plagas a sus enemigos naturales, como también de patógenos presentes en el campo. Posterior, se realiza la nivelación para evitar encharcamientos y acondicionar una buena distribución del agua al cultivo. Finalmente se elaboran los surcos o camas para evitar la erosión de cualquier tipo de materiales (Velásquez, 2019).

b. Siembra

La lechuga se siembra directamente a campo o mediante trasplante. Sin embargo, muchos productores prefieren hacerlo por trasplante y utilizando bandejas de polietileno, sembrando en cada alveolo de la bandeja una semilla a profundidad de 0.5 a 1 cm (Casaca, 2005).

La cantidad de semilla requerida para una hectárea va a depender de factores tales como la densidad, porcentaje de germinación y porcentaje de trasplante (Theodoracopoulos et al, 2019).

Vallejo & Estrada (2004) citado por Velásquez (2019), indica que el distanciamiento de siembra a campo definitivo varía de acuerdo al tipo de lechuga, es por eso que las lechugas de cabeza requieren entre 25 a 45 cm entre plantas; lechugas de hoja es a una distancia de 20 a 45 cm entre sí; y lechugas de crecimiento erecto o aquellas que forman plantas pequeñas, su distanciamiento es entre plantas de 10 a 20 cm. Sin embargo, Ugás et al. (2000)

determinan un distanciamiento para cualquier tipo de lechuga, consiste en un 30 cm entre plantas a doble hilera y 80 cm entre surcos, expresando una densidad de siembra de 83 333 plantas/ hectárea.

c. Trasplante

El trasplante se realiza cuando la planta alcance una altura de 10 a 12 cm, esto se da a los 30-40 días después de la siembra. Antes del trasplante a campo definitivo se debe humedecer el sustrato para crear las condiciones adecuadas de humedad y evitar que las plántulas sufran un estrés fisiológico. Las plantas en campo no deben estar en contacto directo con el agua de riego para prevenir daños por hongos fitopatógenos (Casaca, 2005).

d. Fertilización

De acuerdo a un análisis de suelo, el clima de la zona, la duración de la etapa fenológica del cultivo y las características de acuerdo a las variedades y cultivares de lechuga se puede ejecutar un plan de fertilización. Según García (2013) la lechuga necesita de una mayor cantidad de nitrógeno debido que presenta una baja eficiencia en la utilización de este macronutriente, mientras que Casaca (2015), afirma que la lechuga es exigente en potasio y más cuando las temperaturas son bajas.

Por otro lado, Jiménez (2017) citado por Velásquez (2019) propone un plan de fertilización en base a las necesidades del cultivo de lechuga fraccionando en dos tiempos (Tabla 2).

Tabla 2: Fertilización en lechuga

Abonado	N (kg/ha)	P₂O₅ (kg/ha)	K₂O (kg/ha)
Fondo	40	70	75
Cobertera	150	80	200
Total	190	150	275

Fuente: Jiménez (2017)

Corradini (2017), indica que la cantidad de nitrógeno se debe realizar de acuerdo al tiempo, en verano puede ser aplicado en una sola oportunidad al momento del trasplante. Sin embargo, en invierno como el ciclo es más largo y por problemas de lixiviación, es recomendable parcializar la dosis. El fósforo, debido a su baja movilidad dentro del suelo,

es posible fertilizar con el total de la dosis antes del trasplante. El potasio al presentar una menor movilidad que el nitrógeno, este también puede ser aplicado en conjunto con el fósforo.

e. Control de malezas

La lechuga presenta una competencia crítica con malezas y debido que es una planta de bajo porte se debe tener cuidado cuando el cultivo ya ha crecido, se recomienda hacerlo manualmente o con herramientas manuales como escarda, guadaña y pala (Velásquez, 2019).

f. Plagas y Enfermedades

En la tabla 3 y tabla 4 se presentan las plagas y enfermedades respectivamente más comunes bajo condiciones de La Molina que atacan al cultivo de lechuga.

Tabla 3: Principales plagas del cultivo de lechuga

PLAGA	ACCIÓN SOBRE LA PLANTA
Pulgones (<i>Myzus persicae</i>) (<i>Nasonovia ribisnigri</i>)	Insecto de tipo picador chupador que se alimenta de la savia de la planta debilitándola. Transmisor de virus.
Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i>)	Debilitan a la planta al alimentarse de la savia provocando un debilitamiento general de la planta, ayuda a formarse el hongo de la fumagina y son transmisores de virus.
Trips (<i>Frankiniella occidentalis</i>)	Es el mayor responsable en transmitir virus, ya que transmite el virus del bronceado del tomate, causando el mayor daño en el cultivo de lechuga.
Mosca minadora (<i>Liriomyza huidobrensis</i>)	Las larvas al alimentarse de las hojas forman minas o galerías. Hojas altamente infestadas no pueden producir fotosíntesis y se secan.

Fuente: (Estay & Saavedra, 2017).

Tabla 4: Principales enfermedades en el cultivo de lechuga

ENFERMEDAD	SÍNTOMAS
Mildiu (<i>Bremia lactucae</i>)	Aparecen manchas cloróticas en el haz de las hojas y en el envés de las hojas se presenta el micelio de color blanco grisáceo con abundante esporulación; las manchas llegan a unirse tornándose pardas.
Oídio (<i>Erysiphe cichoracearum</i>)	Los síntomas son manchas pulverulentas compuestas por micelio de color blanquecino presentes en ambas caras de la hoja.
Esclerotinosis (<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>)	Los síntomas son pudriciones acuosas que aparecen desde la base de la planta (raíz) hacia el follaje acompañadas de micelio y esclerocios de color blanco al inicio para tonarse de color negro.
Moho gris o botritis (<i>Botrytis cinerea</i>)	Los primeros síntomas son lesiones acuosas en las hojas o base del tallo para luego presentar micelio de color grisáceo cuando la enfermedad avanza.

Fuente: (Sepúlveda, 2017).

Según Tarigo et al. (2004) citado por La Rosa (2015), existen enfermedades fisiológicas causados por factores abióticos como la enfermedad fisiológica conocida como “Tip Burn”, cuyo síntoma es el quemado de los bordes de hojas nuevas, debido a temperaturas excesivas, estrés hídrico y deficiencia de calcio en el suelo. Otra enfermedad fisiológica viene ser la enfermedad de la flor prematura causada por altas temperaturas en la etapa adulta de la lechuga.

g. Cosecha

Theodoracopoulos et al. (2009) dice que el momento de cosecha generalmente es por lo menos dos meses después del trasplante y cuando la cabeza presente una compactación en la cual requiera de una fuerza manual moderada para ser comprimida y el momento de la recolección debe realizarse por la mañana y evitando el mayor contacto físico para minimizar

daños mecánicos. Los índices de madurez van de acuerdo con el tipo de lechuga, sin embargo, la cosecha se relaciona con el peso, la compactación del producto o grado de arrellamiento (Saavedra, 2017).

Según Vallejo & Estrada (2004) citados por Velásquez (2019), las lechugas de cabeza deben alcanzar un peso, volumen y compactación definidos de acuerdo a los estándares de calidad. Ver tabla 5.

Se corta toda la planta a ras de suelo eliminando las primeras hojas. Luego el producto cosechado se coloca en jabas de plástico bajo sombra para evitar pérdida de agua para luego ser transportados a los puntos de distribución o almacenaje (Lardizábal, 2005).

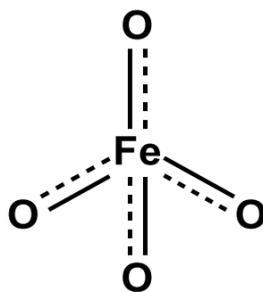
Tabla 5: Clasificación de lechuga tipo iceberg en base a peso y diámetro

CATEGORÍA	DIAMETRO (cm)	PESO DE CABEZA (g/cabeza)
Extra o Suprema	15 - 20	350 - 500
Corriente	10 - 14	250 - 340
Dúplex o mix	< 10	< 250

Fuente: Vallejo & Estrada (2004) citados por Velásquez (2019).

2.2 ION FERRATO

El ion ferrato “Fe (VI)” en su estado de oxidación (FeO_4^{2-}), se conoce también como el oxianión hexavalente de hierro. Presenta un estado de oxidación atípico debido a que los estados comunes de oxidación son Fe (II) y Fe (III), que en forma de sal presenta un tono encarnado (Villanueva, 2011). Este compuesto presenta una estructura tetraédrica, donde los átomos de O_2 , se unen por medio de enlaces covalentes al átomo central Fe (VI) (Figura 1).



Fuente: Chiliquinga (2018)

Figura 1: Estructura tetraédrica del Fe (VI)

2.2.1 Usos del ion ferrato

El ion ferrato en los últimos años ha comenzado llamar la atención de la comunidad científica por sus interesantes propiedades para el tratamiento de efluentes industriales, principalmente por ser un novedoso agente oxidante que al utilizarse no se descompone en subproductos tóxicos que afecten o alteren el tratamiento y/o ambiente (Delaude & Lazlo, 1996). Con un potencial de reducción de 0.7 V en medio alcalino y 2.2 V en medio ácido, genera condiciones óptimas para el tratamiento de aguas con excelentes porcentajes de remoción (Lee et al., 2004).

La capacidad del ion ferrato permite juntar sus propiedades en un mismo sistema de tratamientos de aguas residuales industriales, como: oxidantes, coagulante y agente antibacterial (Villanueva et al., 2009). Además, se ha demostrado que es altamente eficiente en la remoción de contaminantes recalcitrantes (fármacos, colorantes, herbicidas, plaguicidas, metales pesados, materia orgánica) (Lee et al., 2009).

2.2.2 Producción de ion ferrato

Fue descubierto a principios del siglo XVIII, presentó propiedades físicas y químicas aceptables. En el siglo XXI, se estableció metodologías eficientes en la síntesis de iones ferratos, a partir de tres categorías técnicas (Sánchez et al., 2010).

- Métodos termoquímicos: Fundición de sales ferrosas en medios alcalinos fuertes con flujo continuo de oxígeno.

- Métodos químicos: Oxidación de las sales de hierro en soluciones alcalinas utilizando agentes oxidantes, hipocloritos metálicos, bajo condiciones altas de presión y temperatura. Procesos de oxidación húmeda y seca (Lee et al., 2004).
- Métodos Electroquímicos: Aplicación directa de corriente eléctrica sobre ánodos de sacrificio de alambres de hierro en medios ácidos y alcalinos. Electro síntesis sobre un electrodo inerte en solución de hierro (Sáez et al., 2008).

La formación de iones ferrato depende de factores como: densidad de corriente suministrada, tipo de electrodo, temperatura, concentración tipo de electrolito y diseño de reactor (Mácova et al., 2009). Estudios recientes demuestran una alta eficiencia en el electro generación de ion ferrato utilizando electrodos de hierro como ánodos en soluciones ácidas. Según Sáez et al. (2008) citados por Chiliquina (2018), en soluciones alcalinas no es tan recomendable por la dependencia de los parámetros mencionados con anterioridad, los mismos que forman una capa pasiva sobre la superficie del ánodo interfiriendo en su normal funcionamiento.

Quino & Eyzaguirre (2015), realizaron la construcción de un reactor para la producción de iones ferrato para su aplicación directa en el tratamiento de agua contaminada con arsénico y bacterias. El reactor consiste en una celda electroquímica dividida por una membrana de intercambio catiónico que produce el ferrato a través de la disolución anódica de un electrodo de hierro. El ferrato, o FeO_4^{2-} , el producto de la celda, es uno de los estados altamente oxidados del hierro, que es relativamente estable. En el agua, el ferrato se reduce rápidamente a Fe^{3+} , oxidando simultáneamente el arsénico y la materia orgánica. Una vez reducido el ferrato, el Fe^{3+} residual actúa reaccionando con el arsénico oxidado y lo remueve de la solución al actuar como un agente coagulante. Así, remueve los contaminantes sin dejar residuos que puedan ser peligrosos para la salud.

2.3 METALES PESADOS

Los metales muestran una acumulación considerable mediante el riego continuo a largo plazo con aguas residuales aumentando la concentración de metales en los cultivos (Arora et al., 2008). Mapanda et al. (2005) evaluaron el efecto del riego a largo plazo de las aguas residuales en el contenido de metales de los suelos bajo cultivos de hortalizas y descubrieron que la concentración de Cd, Cr y Pb variaba entre 2.0 - 3.4, 33 - 225 y 22 - 41 mg / kg

respectivamente. Alghobar & Suresha (2017) mostraron un nivel muy alto de acumulación de metales en los tomates cuando se riega con aguas residuales.

2.3.1 Efecto de los metales sobre hortalizas

Los metales se acumulan en hojas, raíces, tubérculos, tallos e incluso en todo el cuerpo de la planta, afectando indirectamente a través del reemplazo de nutrientes esenciales en los sitios de intercambio catiónico (Taiz & Zeiger, 2002). Los metales pueden ser fácilmente absorbidas por las raíces de las plantas y transferidas a la porción comestible (Jolly et al., 2013). Según Xu (2015) & Shi et al. (2018), los metales como Cd y Pb en una gran cantidad se acumulan en el cuerpo de la planta interfiriendo en la absorción y transporte de otros elementos esenciales, además afecta el potencial de resistencia, electrones, sistema de transferencia, fotosíntesis, respiración, altera el metabolismo, la actividad enzimática, el crecimiento y la reproducción. La fitotoxicidad de los metales pesados se manifiesta particularmente en los suelos ácidos y afecta el crecimiento y la formación de raíces laterales y secundarias (Miranda et al., 2008)

III. METODOLOGÍA

3.1 MATERIALES

3.1.1 Ubicación

El presente trabajo de investigación se realizó en el lote 19 del Centro Experimental La Molina del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), ubicado en el distrito de La Molina (Lima – Perú), cuya ubicación geográfica es:

- Latitud : 12° 04' 27" S
- Longitud : 76° 56' 27.6" W.
- Altitud : 236 m.s.n.m.

3.1.2 Suelo

La caracterización físico-química del suelo fue determinada a través de un análisis realizado con muestras tomadas al azar del campo, dichas muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Un resumen de los resultados se presenta en la tabla 6.

Tabla 6: Características físico-químico del suelo en estudio

Característica	Resultado	Interpretación
Arena (%)	56.4	
Limo (%)	25.94	
Arcilla (%)	17.66	
Clase Textural	Franco Arenoso	
pH (1:1)	7.47	Ligeramente alcalino
CE (1:1) (dS/m)	1.93	No salino
MO (%)	4.29	Alto
CaCO ₃ (%)	0.49	Bajo
P disponible (ppm)	69.09	
K disponible (ppm)	332	
CIC (meq/100g)	12.16	Media
Ca ²⁺ (meq/100g)	7.94	
Mg ²⁺ (meq/100g)	1.12	
Na ⁺ (meq/100g)	0.15	
K ⁺ (meq/100g)	0.53	

Fuente: Laboratorio de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) – UNALM

3.1.3 Clima

En el periodo comprendido de los meses de Julio – Octubre del 2019, que se llevó a cabo la fase experimental del trabajo de investigación, los datos del clima fueron obtenidos de la Estación Alexander Von Humboldt de la Universidad Nacional Agraria La Molina. En la tabla 7 se presenta el resumen de los datos meteorológicos por mes.

Las temperaturas promedio para que el cultivo de lechuga tenga un desarrollo óptimo oscila entre los 15 y 18 °C y una mínima de 12 °C (Saavedra, 2017); en los meses que se llevó a cabo el experimento se halló en el rango de temperatura óptima. Por otro lado, la humedad relativa promedio superó el 80%, dado que la humedad recomendada oscila entre los 60 – 80%, según Turini et al. (2011) citado por Velásquez (2019).

Tabla 7: Datos meteorológicos

Mes	T° media (°C)	HR media (%)	Precipitación (mm)
Julio	15.30	85.35	0.01
Agosto	14.87	83.86	0.01
Septiembre	16.04	81.86	0.01
Octubre	16.71	79.24	0.01
Promedio	15.73	82.58	0.01

Fuente: Estación Meteorológica Alexander Von Humboldt - SENAMHI, 2019

3.1.4 Agua

Para el riego, se utilizó el agua proveniente del río Rímac la misma que se concentra en el reservorio del Centro Experimental La Molina – INIA con capacidad de 180 m³ que es utilizada para regar los 19 lotes de cultivos y jardines.

A esta agua se realizó un análisis en laboratorio realizado por TYPESA – Perú. El método para cuantificar los metales pesados en agua sin iones ferrato (agua del reservorio) y agua con iones ferrato fue a través del método de espectrometría (ICP – MS). En la tabla 8 se muestra las concentraciones promedias de Arsénico, Cadmio, Cromo y Plomo encontrados en el agua de riego sin y con iones ferrato.

La conductividad eléctrica en ambas aguas indica que no son salinas, en cambio, el pH en el agua sin iones ferrato (agua de reservorio) es altamente alcalina en comparación con el agua con iones ferrato que presenta un pH neutro (Ver tabla 9).

Tabla 8: Concentración promedio de As, Cd, Cr y Pb en el agua de riego sin tratar y tratada con iones ferrato

Metales	Unidad de medida	L.D.	Agua de riego sin tratar	Agua de riego tratada
Arsénico total	mg/L	0.00009	0.023	0.003
Cadmio total	mg/L	0.00006	0.000	0.000
Cromo total	mg/L	0.00004	0.001	0.001
Plomo total	mg/L	0.00005	0.003	0.001

Fuente: Laboratorio TYPASA - PERÚ, 2019

*L.D.: Límite de detección del método.

*Metales pesados encontrados en el agua de riego según análisis de agua.

Tabla 9: Conductividad eléctrica y pH de agua de riego sin tratar y tratada con iones ferrato

Parámetro	Agua de riego sin tratar	Agua de riego tratada
C.E (dS/m)	0.71	0.77
pH	10.13	6.94

Fuente: TYPASA - Perú, 2019.

3.1.5 Iones Ferrato

El presente trabajo de investigación se utilizó iones ferrato, la cual era producido electroquímicamente a través de un módulo automatizado, que cuenta con un tanque que almacena hidróxido de sodio al 50% diluido que luego será dosificado hacia los reactores por medio de bombas peristálticas que son encendidas y apagadas por el controlador del sistema, además, consta de tres reactores, de la cual uno es de seguridad, estos funcionan en paralelo con una capacidad máxima de 429 ml en solución producidas en 5 horas, debido que posee sensores de nivel de líquido (para no sobrecargar al reactor de insumos), placa de

hierro, electrolito y un flujo de corriente para regular una cierta cantidad de horas de producción.

Para la remoción de contaminantes del agua de riego (metales pesados) se dosificó a través de bombas peristálticas y tipo diafragma de bajo caudal tres insumos químicos incluyendo los iones ferrato producidos. Las dosis de inyección figuran en la Tabla 10.

Tabla 10: Dosificación de Insumos químicos

Insumo químico	Dosis (ml/min)	Tipo de Bomba	Marca de bomba
Iones ferrato	1	Peristáltica	Marca EMEC, modelo VCO 1502
Cloruro Férrico	3.6	Peristáltica	Marca Stenner, modelo 45MJL1B3S
Floculante catiónico	24	Diafragma	Marca Stenner, modelo E10

Fuente: Elaboración propia, 2020

Las dosis de los insumos químicos se mezclaron con el agua de riego proveniente del reservorio del CELM – INIA, conducidas a través de una tubería de PVC de 1.5 pulgadas. El agua tratada con iones ferrato se dirige hacia un subsistema que consta principalmente de un geotubo de 7 m³ de capacidad en donde se almacena y que posteriormente será utilizado como uno de los tratamientos del presente trabajo de investigación.

3.1.6 Cultivo

En el experimento se utilizó el cultivar Great Lake 659, procedente de la casa comercial Hortus. Según dicha compañía es un cultivar con 90% de germinación, se le atribuye una cabeza grande, redonda, firme y cubierta por hojas envolventes de color verde oscuro, además de ser muy resistente a daños de invierno y rara vez sufre quemaduras o chamuscado.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

- Semillas de Lechuga cv. Great Lakes 659
- Bandejas de almacigo
- Insecticidas
- Lupa
- Escarda
- Equipo de protección
- Mochila pulverizadora

- Fungicidas
- Balanza de precisión
- Jabas de cosecha
- Estufa
- Pala
- Modulo automatizado
- Soluciones químicas
- Vernier
- Cuchilla
- Bolsas de papel y plástico
- Libreta de campo
- Cámara fotográfica
- Iones ferrato

3.3 METODOS Y PROCEDIMIENTOS

3.3.1 Almacigo

El 20 de Julio del 2019 en los invernaderos del Centro Experimental Agraria La Molina – INIA se instaló bandejas almacigueras de 72 celdas, las cuales fueron llenadas con sustrato premix 3, colocando de 2 a 3 semillas por celda, después de germinado se realizó el deshije dejando una planta por celda, permaneciendo en ella hasta su trasplante.

3.3.2 Preparación del terreno

Se realizó un riego de machaco para permitir la germinación de semillas de malezas, después de 20 días se prosiguió con el arado y rastra de discos para el mullido y nivelado del terreno. No se realizó surcos. La maquinaria fue proporcionada por el INIA.

3.3.3 Colocación de cintas de riego

Las cintas de riego fueron instaladas a una distancia de 0.80 metros entre ellas en cada bloque y separadas entre bloques por 0.50 metros.

3.3.4 Producción de Iones Ferrato

Dos días antes del trasplante de lechuga inició la producción de iones ferrato durante toda la campaña del cultivo, lo cual para esto se enciende el modulo automatizado a las 7:00 am y con las bombas peristálticas del módulo se traslada la soda caustica hacia los reactores produciendo iones ferrato a una capacidad máxima de producción de 429 ml en 5 horas al día. Posteriormente, los iones ferratos junto con el cloruro férrico y el floculante catiónico serán mezclados con el agua de riego del reservorio para producir agua tratada con iones ferrato que servirá como uno de los tratamientos.

3.3.5 Trasplante

El trasplante se llevó a cabo el 16 de agosto del 2019 en el Lote 19 del CELM – INIA, cuando las lechugas presentaban unas 3 a 4 hojas verdaderas. El trasplante se realizó a un distanciamiento de 0.30 m entre plantas a doble hilera y 0.80 entre líneas de cintas de riego.

3.3.6 Riego

El primer riego se realizó dos días antes del trasplante con los tratamientos para que el suelo se encuentre a capacidad de campo y que la labor del trasplante no perjudique al cultivo. Los riegos siguientes fueron aplicados en función de un tensiómetro instalado que nos va a dar una idea de la disponibilidad de agua por parte de las raíces del cultivo.

3.3.7 Desmalezado

La labor de desmalezado inició el 26 de agosto del 2019 con un total de 5 desmalezados y se realizó manualmente o con el uso de una escarda o pala cuando era necesario para mantener el campo libre de malezas y para que el cultivo se pueda desarrollar idealmente durante todo su ciclo.

3.3.8 Control fitosanitario

El cultivo fue monitoreado semanalmente con la finalidad de determinar la presencia de plagas y enfermedades durante todo su ciclo. Se detectó la presencia de pulgones de las especies *Myzus persicae* y *Nasonovia ribisnigri* en hojas nuevas, además se detectó minas causados por *Liriomyza huidobrensis* “mosca minadora” en las primeras hojas y enfermedades como el oídio antes que termine la cosecha.

3.3.9 Cosecha

Se inició el 14 de octubre del 2019 y terminó el 28 de octubre del 2019 realizándose 3 cosechas en total.

3.4 FACTORES EN ESTUDIO

3.4.1 Tratamientos

Se evaluaron 3 tratamientos basados en los niveles de iones ferrato incorporados al agua al momento de riego: 21 ml/m³ y 42 ml/m³ (agua con iones ferrato). Siendo 0 ml/m³ (agua sin iones ferrato) el tratamiento testigo (Ver Tabla 11).

Tabla 11: Tratamientos del ensayo. La Molina, 2019

Tratamiento	Iones ferrato en agua (ml/m ³)
T0	0
T1	21
T2	42

* La dosificación del cloruro férrico y el floculante catiónico fueron constantes en los tratamientos con iones ferratos.

3.4.2 Diseño experimental

El presente trabajo se utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con 3 tratamientos y 4 repeticiones o bloques. La distribución de los tratamientos se asignó de manera aleatoria en las unidades experimentales de cada bloque (Tabla 12).

Tabla 12: Listado de tratamiento y aleatorización de los mismos

Tratamiento	Iones ferrato en agua (ml/m ³)	Bloques			
		I	II	III	IV
T0 (Control)	0	102	201	303	401
T1	21	101	203	302	402
T2	42	103	202	301	403

En el análisis estadístico, se realizó el análisis de varianza correspondiente al diseño DBCA (Tabla 13), y la prueba de comparación de medias de Duncan con un nivel de confianza de 95 % (alfa 0.05). El software utilizado fue InfoStat.

Tabla 13: Cuadro ANVA (DBCA) de tres tratamientos y cuatro repeticiones

Fuente de variabilidad	GL		CM	F	P - valor
Bloque	(r - 1)	3	**	**	***
Tratamiento	(t - 1)	2	**	**	***
Error	(r - 1)(t - 1)	6	**		
Total	(rt - 1)	11			

Donde:

r = Número de bloques

t = Número de tratamientos

Ti = Efecto del tratamiento i

Características del campo experimental

Bloques

N° de bloques	:	4
Ancho	:	4 m
Largo	:	12 m
Área Total del Bloque	:	48 m ²
Área Total del Experimento	:	192 m ²
Separación entre Bloque	:	0.5 m

Parcelas

N° de parcelas	:	12
Ancho	:	4 m
largo	:	4 m
Área	:	16 m ²

3.5 VARIABLES DE EVALUADAS

3.5.1 Rendimiento

Se determinó el peso de todas las cabezas de lechugas cosechadas de cada unidad experimental, y se expresó en tonelada por hectárea (Tn/ha).

3.5.2 Calidad Externa

Se tomaron 10 lechugas al azar en la primera cosecha de cada unidad experimental en los que se evaluó:

- Número de hojas: Se procedió a deshojar las plantas luego de realizar todas las evaluaciones respectivas. Se consideró hoja como “nueva” con un mínimo de cuatro centímetros de longitud.
- Altura de planta: Se midió desde el corte del tallo hasta la parte superior de la cabeza.
- Diámetro de cabeza: Se promedió las mediciones del diámetro ecuatorial y el diámetro polar expresado en centímetros.
- Peso promedio de lechuga: En una balanza digital se pesaron y se promedió el peso expresado en gramos.

3.5.3 Materia seca

Se estimó el porcentaje de materia seca de una lechuga de la primera cosecha por cada unidad experimental. Se registró el peso fresco, y el peso seco después de pasar tres días en una estufa a 60 °C.

3.5.4 Análisis de metales pesados

Se llevaron cinco muestras de lechuga de la primera cosecha de cada unidad experimental al laboratorio de TYPESA - Perú, en donde se determinaron el contenido de metales pesados, principalmente de plomo, cadmio, cromo y arsénico.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RENDIMIENTO

Los rendimientos obtenidos se resumen en la Tabla 14. Se puede apreciar que los tratamientos afectaron de manera significativa la producción de lechuga de cabeza cosechadas por hectárea. Se observó que el tratamiento control T0 (44.82 Tn/ha) tuvo un mayor rendimiento con respecto a los tratamientos con iones ferrato en el agua; 21 y 42 ml/m³ con 41.98 y 38.81 (Tn/ha) respectivamente (Ver Figura 2). Estos resultados podrían significar que los iones ferrato aplicados al agua de riego remueve la materia orgánica presentes en el suelo (Lee et al., 2009) y pueden haber afectado la nutrición mineral de las plantas.

González & Saldarriaga (2008), empleando un sistema de tratamiento de agua (anaerobio – anóxico – aerobio), logran remover la materia orgánica y nitrógeno. Según Cortez (2014), con el uso de ferrato de potasio elimina organismos y bacterias.

Tabla 14: Rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Great Lakes 659 empleando iones ferrato en el agua de riego. La Molina, 2019

Iones Ferrato en agua (ml/m³)	Rendimiento (Tn/ha)
0 (T0) ⁽¹⁾	44.82 c ⁽²⁾
21	41.98 b
42	38.81 a
Promedio	41.87
Nivel de significancia	*
C.V. (%)	3.70

(1) Tratamiento testigo

(2) Medias seguidas de la misma letra no tienen diferencias estadísticamente significativas según la prueba de Duncan al 5%

Velásquez (2019), obtiene un rendimiento de lechuga arrepollada (cv. Angelina) de 39.76 tn/ha y Zamora (1957) citado por Yucra (2019) obtuvo un rendimiento promedio de 37.6 tn/ha para el cultivar Great Lakes siendo así menores con los rendimientos obtenidos en este ensayo.

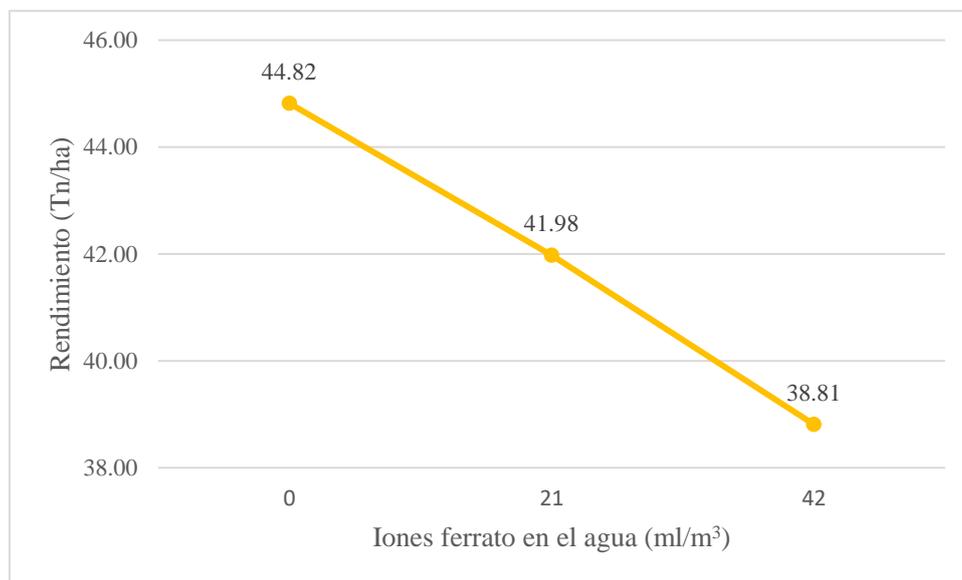


Figura 2: Rendimiento (Tn/ha) en función de los Iones ferrato en el agua (ml/m³)

4.2 CALIDAD EXTERNA

a. Peso promedio

Los pesos promedio de cabeza de lechuga se resumen en la Tabla 15. Se puede apreciar que los tratamientos afectaron de manera significativa. Se observó que el tratamiento control T0 (551.62 g) tuvo un mayor peso con respecto a los tratamientos con Iones ferrato en el agua; 21 y 42 ml/m³ con 516.66 y 477.68 (g) respectivamente (Ver Figura 3).

Tabla 15: Calidad externa de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Great Lakes 659 empleando iones ferrato en el agua de riego. La Molina, 2019

Iones Ferrato en el agua (ml/m ³)	Peso promedio (g)	Diámetro cm	Altura	Número de hojas
0(T0) ⁽¹⁾	551.62 c ⁽²⁾	15.66 b	14.85 a	20 b
21	516.66 b	15.22 b	13.99 a	19 ab
42	477.68 a	14.38 a	14.32 a	18 a
Promedio	515.32	15.09	14.39	19
Nivel de significancia	*	*	n.s	*
C.V. (%)	3.69	2.64	4.43	4.28

(1) Tratamiento testigo

(2) Medias con una letra común no son significativamente diferentes estadísticamente según la prueba de Duncan al 5%

Sin embargo, pese que el tratamiento control T0 tuvo un mejor peso promedio de lechuga de cabeza (551.62 gramos) con respecto a los otros dos tratamientos T1 y T2 (516.66 y 477.18, respectivamente), estos no se vieron comercialmente afectados, debido que el peso promedio superó lo establecido por Vallejo & Estrada (2004) citados por La Rosa (2015) y están dentro de los rangos que exigen los supermercados (Saavedra, 2017).

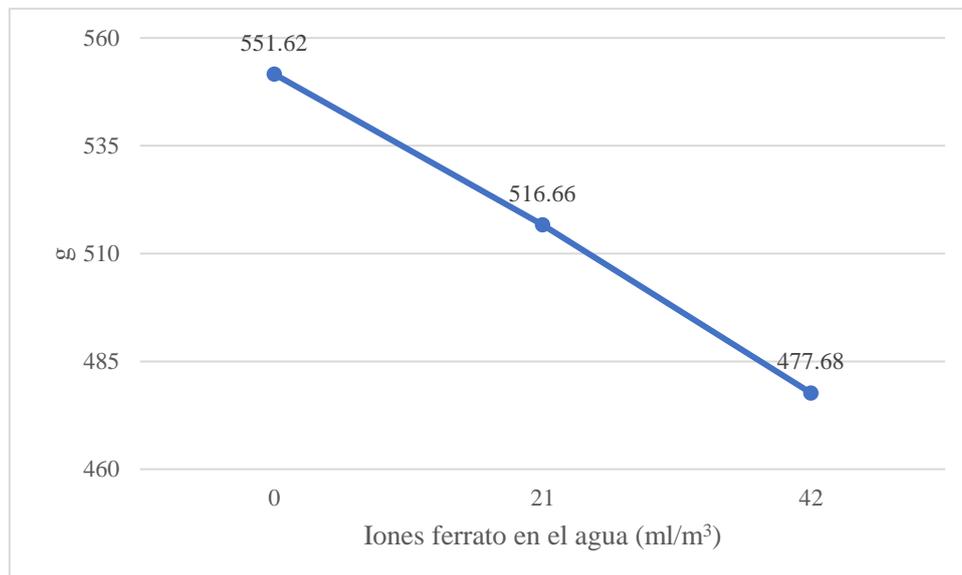


Figura 3: Peso promedio (g) en función de los Iones ferrato en el agua (ml/m³)

b. Diámetro

Se encontraron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos T0 (15.66) y T2 (14.38) cm de diámetro, sin embargo, el tratamiento T1 (15.22 cm) no se diferencia estadísticamente con el tratamiento testigo. En la Figura 4 se puede observar como a medida que aumenta los iones ferrato en el agua afecta disminuyendo el diámetro de cabeza de lechuga.

El tamaño de la parte aérea de la lechuga (diámetro de cabeza) es una característica importante para la comercialización de esta hortaliza, los tratamientos con menos iones ferrato en agua alcanzaron un diámetro necesario para ser considerados dentro de la categoría suprema según Vallejo & Estrada (2004) citados por Velásquez (2019).

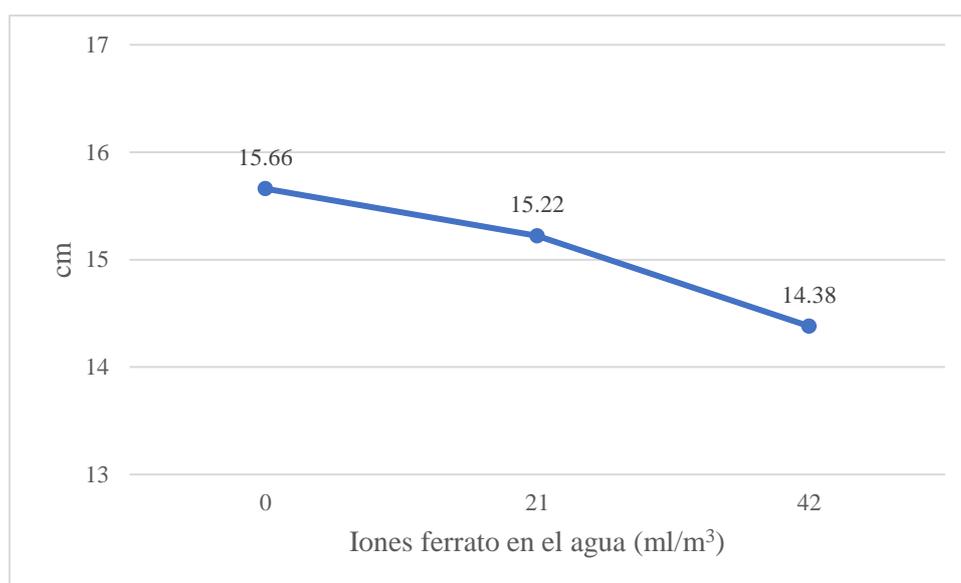


Figura 4: Diámetro de cabeza de lechuga en función de Iones ferrato en el agua (ml/m³)

c. Altura

No se encontraron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos evaluados. La mayor altura fue observada en el tratamiento testigo T0 (14.85 cm), mientras que la menor altura de cabeza de lechuga se presentó en el tratamiento T1 (13.99 cm) (Ver Figura 5).

Godoy et al. (2019) en su evaluación agronómica de varios cultivares de lechuga americana tuvieron como resultado una altura mínima y máxima promedio de 14 cm y 17 cm respectivamente, encontrándose las lechugas de este ensayo en el mínimo requerido.

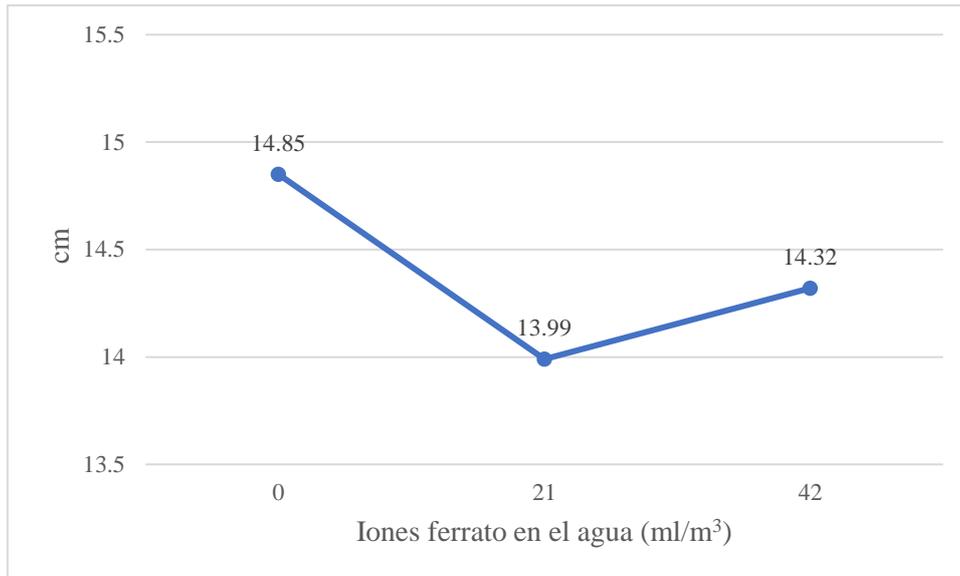


Figura 5: Altura de cabeza de lechuga en función de Iones ferrato en el agua (ml/m³)

d. Número de hojas

Existen diferencias significativas sobre el efecto del número de hojas internas de lechuga entre los tratamientos T0 (20 hojas) y T2 (18 hojas), pero, siendo similares estadísticamente al tratamiento T1 (19 hojas). El número de hojas disminuye a medida que se aumenta la cantidad de iones ferrato en el agua (ml/m³) como se puede observar en la Figura 6.

Sin embargo, Gutiérrez (2011) encontró el número promedio de hojas de lechuga iceberg con un promedio total de 30 hojas entre externas e internas. A partir de estos resultados, se podría determinar que existe un factor fisiológico u hormonal, debido que los tres tratamientos presentan un promedio de numero de hojas menor, sin embargo, esto sería parte de las características de cada cultivar.

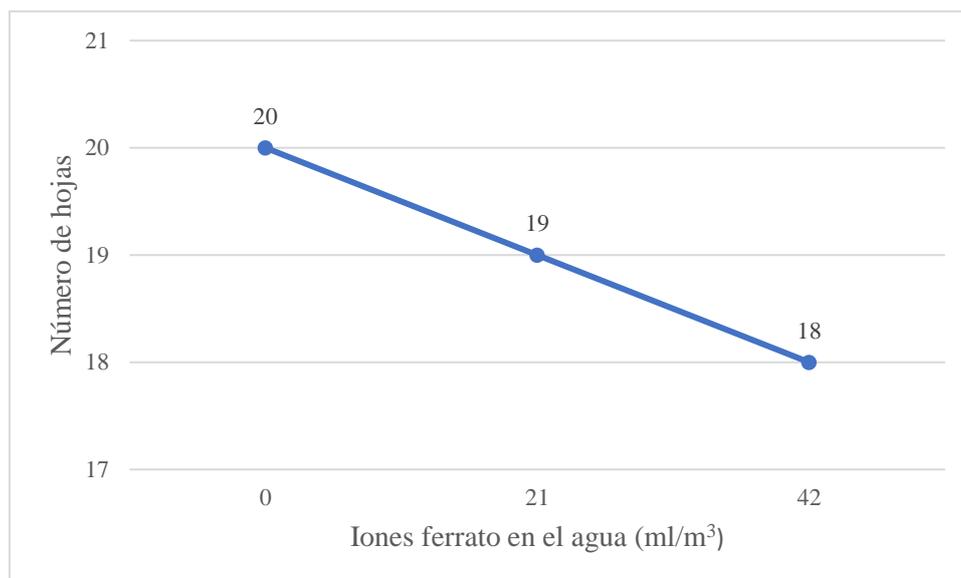


Figura 6: Número de hojas en función de Iones ferrato en el agua (ml/m³)

4.3 PORCENTAJE DE MATERIA SECA

Los porcentajes de materia seca se encontraron entre 4.64 y 5.19 %, observándose diferencias significativas entre los tratamientos sobre todo entre T2 (4.64 %) y T0 (5.19 %).

Tabla 16: Porcentaje de materia seca en lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Great Lakes 659 empleando iones ferrato en el agua de riego. La Molina, 2019

Iones Ferrato en agua (ml/m ³)	Porcentaje de Materia Seca (%)
0 (T0) ⁽¹⁾	5.19 a ⁽²⁾
21	4.93 ab
42	4.64 b
Promedio	4.92
Nivel de significancia	*
C.V. (%)	3.62

(1) Tratamiento testigo

(2) Medias seguidas de la misma letra no tienen diferencias estadísticamente significativas según la prueba de Duncan al 5%

En la Figura 7 se puede observar que el porcentaje de materia seca (%) disminuye cuando se aumenta la cantidad de iones ferrato en el agua (ml/m³). Los valores obtenidos son inferiores a lo informado por Sánchez (2010) que reporta contenidos de MS que fluctúan entre 5.33 y

6.49% y superiores a los reportados por Defilipis et al., (2006) que oscilaron entre 4.48 y 4.78 % de MS.

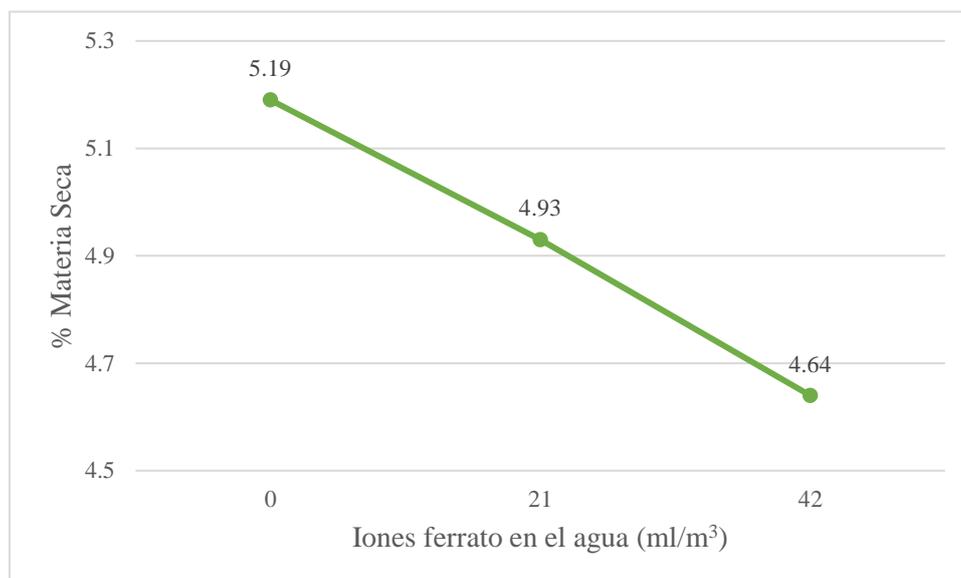


Figura 7: Porcentaje de materia seca en función de Iones ferrato en el agua (ml/m³)

4.4 METALES PESADOS

En la Tabla 17 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la concentración de los metales pesados Arsénico, Cadmio, Cromo y Plomo (mg/kg) en hojas de lechuga.

Tabla 17: Concentración promedio de metales pesados en hojas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Great Lakes 659 empleando iones ferrato en el agua de riego. La Molina, 2019

Iones Ferrato en el agua (ml/m ³)	(mg/kg)			
	Arsénico	Cadmio	Cromo	Plomo
0(T0) ⁽¹⁾	0.1036 a ⁽²⁾	0.0493 a	0.0677 a	0.0364 a
21	0.0698 a	0.0492 a	0.0643 a	0.0362 a
42	0.0564 a	0.0506 a	0.0595 a	0.0392 a
Promedio	0.0766	0.0497	0.0638	0.0373
Nivel de significancia	n.s	n.s	n.s	n.s
C.V. (%)	62.64	6.3	9.92	13.33

(1) Tratamiento testigo

(2) Medias con una letra común no son significativamente diferentes estadísticamente según la prueba de Duncan al 5%

a. Arsénico

No se encontraron diferencias significativas entre el efecto de las medias de los tratamientos. Se puede apreciar que el tratamiento T0 (0.1036 mg/kg) tuvo una mayor concentración en

hojas de lechuga en comparación con los tratamientos T1 (0.0698 mg/kg) y T2 (0.0564 mg/kg) (Ver Figura 8).

En todos los tratamientos presentan menos de 1 mg/kg, con lo cual son seguras en relación a este límite máximo permitido para As en hojas de lechugas (Llopart, 2017).

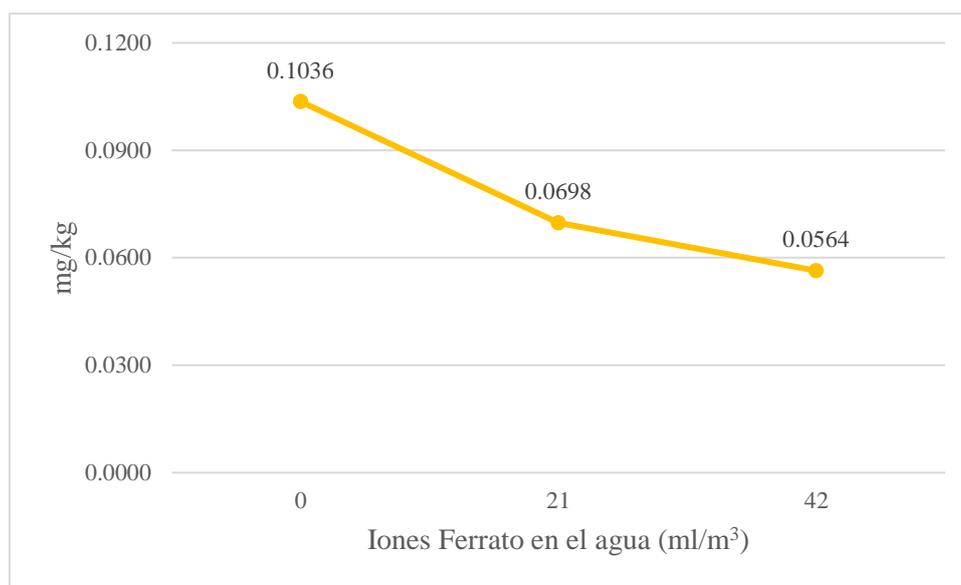


Figura 8: Concentración promedio de Arsénico en lechuga en función de Iones ferrato en el agua (ml/m³)

b. Cadmio

No se encontraron diferencias significativas entre el efecto de las medias de los tratamientos. La mayor concentración de Cd en hojas de lechuga se obtuvo con el tratamiento T2 (0.0506 mg/kg) y una menor concentración con el T1 (0.0492 mg/kg) (Ver Figura 9).

En todos los tratamientos realizados en el ensayo presentan menos de 0.20 mg/kg, ya que es el límite máximo permitido para Cd en hojas de lechugas establecidas por la Unión Europea (2006) citado por Miranda et al. (2008), lo cual se podría decir que son seguras.

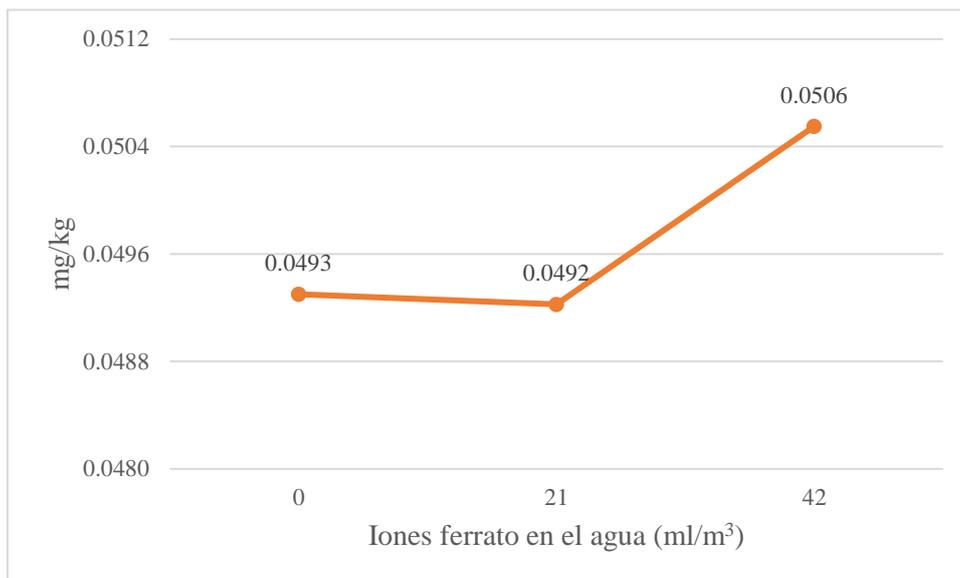


Figura 9: Concentración promedio de Cadmio en lechuga en función de Iones ferrato en el agua (ml/m³)

c. Cromo

No se encontraron diferencias significativas entre el efecto de las medias de los tratamientos. Sin embargo, la cantidad de Cr (mg/kg) disminuyó a medida que se incorporó iones ferrato en el agua (ml/m³), obteniendo una mayor concentración con el T0 (0.0677 mg/kg) y una menor concentración con el T2 (0.0595 mg/kg) (Ver Figura 10).

Gunsé (1987), en sus tratamientos para evaluar los efectos de Cr dice que, el contenido de cromo está en función de su suministro, es decir, a menos contenido de cromo en el agua menor contenido de este metal en las hojas de lechuga.

Según Juárez (2012) citado por Córdova (2019), el contenido promedio de Cr en lechuga es 0.06 mg/kg por lo que los valores obtenidos en los tratamientos T0 y T1 superan este límite, menos el tratamiento T2 (42 ml/m³).

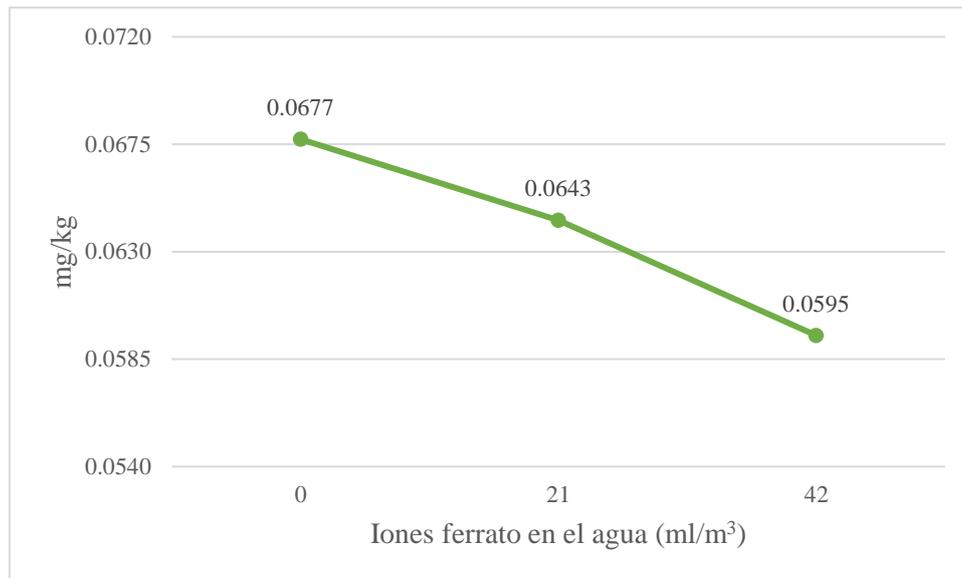


Figura 10: Concentración promedio de Cromo en lechuga en función de Iones ferrato en el agua (ml/m³)

d. Plomo

No se encontraron diferencias significativas entre el efecto de las medias de los tratamientos. La mayor concentración de Pb en hojas de lechuga se obtuvo con el tratamiento T2 (0.0392 mg/kg) y una menor concentración con el T1 (0.0362 mg/kg) (Ver Figura 9).

Según Lerda (1992), el Pb afecta el crecimiento de la lechuga y reduce el crecimiento radicular por la disminución de células mitóticas. Miranda et al. (2008), con sus tratamientos empleados, encontró 4.2 y 6 ppm de Pb, sin afectar el crecimiento de lechuga.

En todos los tratamientos realizados en este ensayo presentan menos de 0.30 mg/kg, con lo cual son seguras en relación a este límite máximo permitido para Pb en hojas de lechugas establecidas por la Unión Europea (2006).

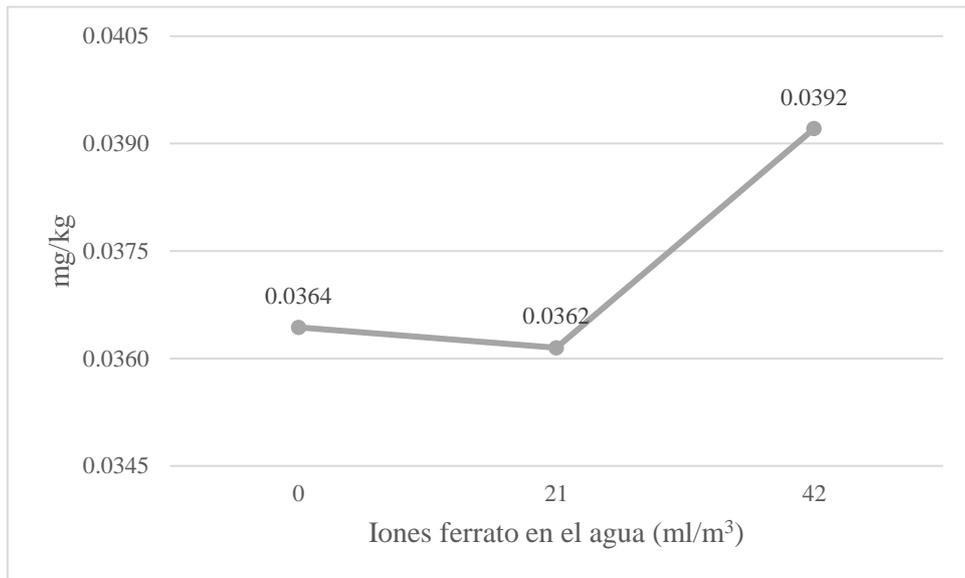


Figura 11: Concentración promedio de Plomo en lechuga en función de Iones ferrato en el agua (ml/m³)

V. CONCLUSIÓN

1. Se determinó que los Iones ferrato aplicados en el agua de riego no mejora la producción en el cultivo de lechuga cv. Great Lakes 659 y las concentraciones de metales pesados no se vieron afectados estadísticamente bajo condiciones de La Molina.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar el mismo ensayo en campañas consecutivas para determinar si hay una menor concentración de metales pesados anual.
- Realizar el mismo ensayo con otras hortalizas con el fin de maximizar el rendimiento y calidad de cultivo.
- Realizar ensayos similares evaluando el efecto que tiene la reducción de algunos metales pesados con la aplicación de iones ferrato al agua sobre organismos fitopatógenos y plagas.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Arora, M., Kiran, B., Rani, S., et al., 2008. Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources. *Food Chem.* 111, 811–815. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.049>

Baca, C.G. (2015). Efecto de tres dosis de biol en el rendimiento de *Lactuca sativa* L. var. capitata híbrido iceberg, en Moche, Trujillo – La Libertad. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Trujillo – Perú. 54 p. Revisado de <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/7486/Baca%20Romero%20Christiann%20Germ%C3%A1n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Casaca, A. (2005). El cultivo de lechuga. Documento técnico. Proyecto de Modernización de los Servicios de Tecnología Agrícola. PROMOSTA. Costa Rica. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/63655419/lechuga>

Castillo, N.; Franco, M.L.; González, M.J.; Santillán, J.M.; Vázquez, M.E. & Botto, I.L. (2013). Efecto del riego con aguas ricas en arsénico sobre un cultivo de rúcula (*Eruca sativa* L.). *AUGMDOMUS.* 5(1) 29-41. Recuperado de <http://revistas.unlp.edu.ar/index.php/domus/issue/current/showToc>

Cerdas, M., & Montero, M. (2004). Guías técnicas del manejo poscosecha de apio y lechuga para el mercado fresco. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Universidad de Costa Rica. San José, C.R. 72p

Chiliquinga, M.G. (2018). Estudio de la remoción electroquímica de Anilina azul BR en aguas residuales industriales mediante la generación in situ del ion ferrato. Escuela Politécnica Nacional – Ecuador. 114 p. Revisado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19552/1/CD-8949.pdf>

Córdova, M. (2019). Efluentes de la planta de tratamientos de aguas residuales totora y la contaminación de las hortalizas por metales pesados en la comunidad de Totorá – Ayacucho 2017-2018. Tesis para optar el grado de doctora. Universidad Nacional Federico Villarreal. 123p

Corradini, F. (2017). Manual de producción de lechuga. INIA - Chile. Santiago de Chile – Chile. 150 pp. Recuperado de <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/09%20Manual%20Lechuga.pdf>

Cortez, J.E. (2014). La Química para el Bienestar de la Sociedad. Tesis para optar el grado de Bachiller en Químico-Biológico. Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica. México.

Defilipis, C., Pariani, S., Jimenez, A. & Bouzo, A. 2006. Respuesta al riego en lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en invernadero. III jornadas de actualización en riego y fertirriego. INTA Mendoza. Revisado en www.inta.gov.ar/Mendoza/Jornadas/Trabajospresentados.

Delaude, L.; Laszlo, P. (1996). A novel oxidizing reagent based on potassium ferrate. The journal of organic chemistry. 61 (1). 6360 – 6370 pp. <https://doi.org/10.1021/jo960633p>

De Vries, I.M. (1997). Origin and domestication of *Lactuca sativa* L. Genetic Resources and Crop evolution 44(2): 167-174. Recuperado de <https://doi.org/10.1023/A:1008611200727>

Edelstein, M., & Ben-hur, M. (2017). Scientia Horticulturae Heavy metals and metalloids : Sources , risks and strategies to reduce their accumulation in horticultural crops. Scientia Horticulturae. 234 (1). 431 – 444 pp. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.039>

Estay, P., & Saavedra, G. (2017). Manual de producción de lechuga. INIA - Chile. Santiago de Chile – Chile. 150 pp. Recuperado de <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/09%20Manual%20Lechuga.pdf>

FAOSTAT. Estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). Revisado el 18 de diciembre de 2019 de <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

García, M. (2013). Cultivos herbáceos intensivos. Universidad de Valladolid. Recuperado de <https://es.scribid.com/document/169802602/Cultivo-de-La-Lechuga>

Ghanati, F.; Morita, A. & Yokota, H. (2005). Effects of aluminum on the growth of tea plant and activation of antioxidant system. *Plant And Soil*. 276 (1) : 133 – 141 pp. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/227301960_Effects_of_Aluminum_on_the_Growth_of_Tea_Plant_and_Activation_of_Antioxidant_System

Godoy, N.I.; Enciso, C.; Santacruz V. & Burgos, R. (2019). Evaluación Agronómica Participativa de Cultivares de Lechuga Americana. Universidad Nacional de Asunción, Paraguay. Recuperado de https://researchgate.net/publication/338018294_Evaluacion_agronomica_participativa_de_cultivares_de_lechuga_americana

Goites, E. (2008). Manual de cultivos para la huerta orgánica familiar - Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA. 136p. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-temp/manual_de_cultivos_para_la_huerta_organica_familiar-.pdf

Gonzales, L.A. & Zepeda, A. Rendimiento de cinco variedades de lechuga *Lactuca sativa* L. tipo gourmet ciclo primavera – verano. Tesis para obtener el título de Ingeniera Agrónomo Fitoctenista. Universidad Autónoma de San Luis de Potosí. Recuperado de <https://ninive.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/3477/IAF1GOU01301.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gonzales, M., & Saldarriaga, J.C. (2008, 11 de diciembre). Remoción Biológica de Materia Orgánica, Nitrógeno Y Fósforo en un Sistema Tipo Anaerobio-Anóxico-Aerobio. Recuperado de <https://scielo.org.co/pdf/eia/n10/n10a05.pdf>

Gunsé, B. (1987). Efecto del cromo sobre la nutrición y relaciones hídricas de *Phaseolus vulgaris* L. Tesis para optar el grado de doctor. Universidad Autónoma de Barcelona – España. 188p. Recuperado de <https://core.ac.uk//13277827.pdf>

Gutiérrez, J.G. (2011). Comportamiento de tres cultivares de lechuga (*Lactuca sativa* L.), evaluados al aire libre, en Valdivia. Tesis para optar el título de Ingeniera Agrónoma. Universidad Austral de Chile. Valdivia-Chile. 62p

Jaramillo, J.; Aguilar, P.; Espitia, E.; Tamayo, P.; Arguello, O. & Guzmán, M. (2016). Modelo tecnológico para el cultivo de lechuga bajo buenas prácticas agrícolas en el oriente antioqueño.

https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13758/75472_65800.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Lakshmi, V. (2009). Las Plantas y sus Propiedades Curativas. Ediciones Gnosis Internacional Biblioteca Mayab. 43 p.

La Rosa, O. (2015). Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo condiciones del valle del Rímac, lima. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú. 57p

Lee, Y.; Cho, M.; Yeon, J. & Yoon, J. (2004). Chemistry of ferrate in aqueous solution and its applications as a green chemical. *Journal of industrial and Engineering Chemistry*. 10 (1) : 161 – 171 pp. Recuperado de <https://www.cheric.org/PDF/JIEC/IE10/IE10-1-0161.pdf>

Lee, Y. Zimmermann, S. & Gunten, U. (2009). Ferrate application for municipal wastewatertreatment: A novel process for simultaneous micropollutant oxidation and phosphate removal. *Environmental Science Technology*. 43 (1) : 3831 – 3838 pp. Recuperado de https://pubs.acs.org/doi/suppl/10.1021/es803588k/suppl_file/es803588k_si_002.pdf

Lerda, D. (1992). El efecto del plomo en *Allium cepa* L. Investigación de mutación. México. 281p

Llopart, E.; Basso, A.; Bethular, P., & Pontello, V. (2017). Contenido de Arsénico en Plantas de Lechuga Cultivadas en la Ciudad de Funes. Universidad del Centro Educativo Latinoamericano. CONICET, Argentina. 20(38): 71-79. Disponible en https://articulo_redalyc_87754348006.pdf

López, B. (2016). Diagnóstico de la Producción de Lechuga Hidropónica (*Lactuca sativa* L.) en el Valle Santa Catalina Trujillo-La Libertar. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Trujillo – Perú. Recuperado de <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/7749/LÓPEZ%20SÁNCHEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mácova, Z.; Bouzek, K.; Ján, H.; Sharma, V.; Terry, R. & Clayton, J. (2009). Research progress in the electrochemical synthesis of ferrate. *Electrochimica Acta*. 54 (1) : 2673 – 2683 pp. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2008.11.034>

Mapanda, F.; Mangwayana, E.N.; Nyamangara, J. & Giller, K.E. (2005). The effect of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 107(May), 151 – 165 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.11.005>

Marhuenda, J & García, J. (2017). Lechuga. 239 – 275 pp. En Maroto, J. & Baixauli, C. (2017). *Cultivos Hortícolas al aire libre*. Recuperado de <https://www.floresyplantas.net/wp-content/uploads/libro-cultivos-horticolos-al-aire-libre.pdf>

MINAGRI. Ministerio Nacional de Agricultura y Riego del Perú. (2018). Serie de Estadísticas de Producción Agrícola (SEPA). Revisado el 17 de diciembre del 2019 de http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/?mod=consulta_cult

MINAGRI. Ministerio Nacional de Agricultura y Riego del Perú. (2018). Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias. Anuario Estadístico de Producción Agrícola 2017 -2018. Disponible en <http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=publicaciones/anuario-de-produccion-agricola>

Miranda, D.; Carranza, C.; Rojas, C.A.; Jerez, C.M.; Fisher, G. & Zurita, J. (2008). Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 2 (2) : 180 – 191 pp.

Mou, B. (2008). Lettuce. En Prohens, J. & Nuez, F. (2008). *Vegetables I*. Disponible en <https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-30443-4#about>

Navarro, J.; Aguilar, I. & López, J. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*. 16 (2) : 10 – 25 pp. Disponible en <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/7665#vpreview>

Pila, C. (2016). Determinación de la presencia de plomo y cadmio en dos hortalizas lechuga (*Lactuca sativa*) y zanahoria (*Daucus carota*) en el Quinche. Trabajo para la obtención del Título de Ingeniera Agrónoma. Universidad Central del Ecuador. 67 p. Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/10069/1/T-UCE-0004-82.pdf>

Quino, J. & Eyzaguirre, R. (2015). Unidad de producción de ion ferrato por métodos electroquímicos para el tratamiento de agua contaminada con arsénico. Instituto de investigación científica. Universidad de Lima. Lima – Perú. http://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/ulima/3272/Quino_Favero_2015.pdf?sequ

ence=1&isAllowed=y

Rincón, L. (2008). La fertilización de la lechuga – España. Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentación-IMIDA. Edición Mundi-Prensa. 183p

Saavedra, G. (2017) Manual de producción de lechuga. INIA - Chile. Santiago de Chile – Chile. 150 pp. Recuperado de <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/09%20Manual%20Lechuga.pdf>

Sáez, C.; Rodrigo, M. & Cañizares, P. (2008). Electrosynthesis of ferrate with diamond anodes. *AIChE Journal*. 54 (6) : 1600 – 1607 pp. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/229736414_Electrosynthesis_of_ferrates_with_diamond_anodes

Sánchez, A.; Rodrigo, M.; Cañizares, P. & Sáez, C. (2010). Electrochemical synthesis of ferrate in presence of ultrasound using borond doped diamond anodes. *Electrochemistry Communications*. 12 (1) : 644 – 646 pp. <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2010.02.020>

Sánchez, T.M. (2010). Evaluación de la calidad de lechuga (*Lactuca sativa* L.) respecto a su contenido de nitratos y materia seca. UNLPam-Argentina. Santa Rosa. 21 : 29 – 36 pp. Disponible en <http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pubpdf/rev-agro/v21a03sanchez.pdf>

Shi, T.; Ma, J.; Wu, X.; Ju, T.; Lin, X.; Zhang, Y.; & Li, X. (2018). Ecotoxicology and Environmental Safety Inventories of heavy metal inputs and outputs to and from agricultural soils : A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 164(July), 118–124

Sepúlveda, P. (2017). Manual de producción de lechuga. INIA - Chile. Santiago de Chile – Chile. 150 pp. Recuperado de <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/09%20Manual%20Lechuga.pdf>

Teutli, E.A. (2014). Estudio comparativo de adsorbentes para la remoción de iones fluoruro del agua de uso y consumo en México. Tesis para optar el grado de doctorado en Ciencias del Agua. Universidad Autónoma del Estado de México. Disponible en https://inis.iaea.org//collection/NCLCollectionStore/_Public/46/116/46116539.pdf

Theodoracopoulos, M; Lardizabal, R; Arias, S. (2009). Manual de producción de lechuga. http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/72/EDA_manual_Produccion_Lechuga_02_09.pdf?sequence=1

Ugás, R; Siura, S; Delgado, F; Casas, A; Toledo, J. (2000). Datos básicos de hortalizas. Lima, Perú – UNALM

United States Department of Agriculture. USDA. (2018). *Lactuca sativa* L. Disponible en <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=LASA3>

Velásquez, S. (2019). Densidad de siembra en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Angelina bajo condiciones de La Molina. Tesis para optar el título de Ingeniera Agrónoma. Universidad Nacional Agraria La Molina – Perú. 52p

Vera, J. (2008). Adaptación y comportamiento agronómico de diferentes híbridos de lechuga (*Lactuca sativa* L.) sembradas mediante sistemas hidropónicos de raíz flotante en la zona de Babahoyo. Tesis para optar el grado de ingeniero agrónomo. Universidad Técnica de Babahoyo. Babahoyo – Ecuador. 120 pp.

Villanueva, M. (2011). Generación in situ del ion ferrato vía fotocatalítica y electroquímica para la degradación del ácido 2.4 – Diclorofenoxiacético. Tesis para optar el grado de magister. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo león – México. 100 pp. Recuperada de <http://eprints.uanl.mx/2923/1/1080211186.pdf>

Villanueva, M.; Hernández, A. & Peralta, J. (2009). Enhancing the electrochemical oxidation of acid yellow 36 azo dye using boron – doped diamond electrodes by addition of ferrous ion. *Journal Hazardous Materials*. 167 (1) : 1226 – 1230 pp. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.12.137>

Xu, C.U.; Xulei, S.U.N.; Pengjie, H.U.; Cheng, Y.; Yongming, L.U.O.; Longhua, W.U.; & Christie, P. (2015). Concentrations of Heavy Metals in Suburban Horticultural Soils and Their Uptake by *Artemisia selengensis*. *Pedosphere: An International Journal*, 25(6), 878–887

Yucra, C. (2019). La carbonatita en el rendimiento y calidad de lechuga (*Lactuca sativa*) cv. Patagonia. Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina – Perú. 59p

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Datos climatológicos mes a mes del año 2019

Julio

FECHA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm)	HUMEDAD (%)
01/07/2019	16.28	0.00	88.92
02/07/2019	16.05	0.00	84.67
03/07/2019	15.22	0.01	87.50
04/07/2019	15.15	0.01	85.92
05/07/2019	15.78	0.00	85.42
06/07/2019	15.98	0.00	85.79
07/07/2019	16.53	0.00	82.71
08/07/2019	16.64	0.01	82.92
09/07/2019	15.79	0.00	83.67
10/07/2019	15.70	0.01	84.75
11/07/2019	16.59	0.00	81.21
12/07/2019	15.58	0.00	85.88
13/07/2019	15.08	0.01	85.08
14/07/2019	14.85	0.01	85.96
15/07/2019	14.96	0.01	87.08
16/07/2019	15.32	0.00	88.17
17/07/2019	16.35	0.00	82.83
18/07/2019	15.01	0.00	85.71
19/07/2019	14.55	0.03	88.63
20/07/2019	15.46	0.00	83.21
21/07/2019	15.47	0.00	85.46
22/07/2019	15.10	0.00	87.75
23/07/2019	15.16	0.01	86.83
24/07/2019	15.30	0.01	84.04
25/07/2019	15.34	0.00	83.04
26/07/2019	14.95	0.01	84.79
27/07/2019	14.34	0.03	86.13
28/07/2019	14.42	0.00	85.58
29/07/2019	13.19	0.03	88.88
30/07/2019	13.92	0.03	84.71
31/07/2019	14.34	0.00	82.54

Agosto

FECHA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm)	HUMEDAD (%)
01/08/2019	14.27	0.00	84.54
02/08/2019	14.45	0.00	83.54
03/08/2019	14.48	0.00	83.67
04/08/2019	14.39	0.00	86.13
05/08/2019	14.55	0.01	85.04
06/08/2019	14.34	0.00	84.92
07/08/2019	14.71	0.00	82.88
08/08/2019	15.11	0.00	80.92
09/08/2019	14.17	0.00	85.79
10/08/2019	14.35	0.01	84.67
11/08/2019	14.31	0.00	83.50
12/08/2019	14.23	0.01	84.71
13/08/2019	15.25	0.00	78.75
14/08/2019	14.83	0.01	83.08
15/08/2019	14.07	0.03	90.29
16/08/2019	14.67	0.01	87.09
17/08/2019	14.43	0.03	86.13
18/08/2019	14.31	0.00	86.21
19/08/2019	15.49	0.00	82.88
20/08/2019	14.82	0.05	86.29
21/08/2019	16.26	0.00	77.88
22/08/2019	16.30	0.00	78.92
23/08/2019	16.42	0.00	79.88
24/08/2019	15.01	0.00	85.71
25/08/2019	14.12	0.01	88.00
26/08/2019	14.27	0.00	85.33
27/08/2019	15.03	0.00	83.21
28/08/2019	15.58	0.00	81.92
29/08/2019	15.75	0.00	82.63
30/08/2019	15.30	0.00	82.38
31/08/2019	15.60	0.00	82.96

Septiembre

FECHA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm)	HUMEDAD (%)
01/09/2019	15.91	0.00	82.38
02/09/2019	15.76	0.01	80.83
03/09/2019	15.79	0.00	81.92
04/09/2019	16.34	0.00	80.38
05/09/2019	16.19	0.00	80.83
06/09/2019	15.72	0.00	82.83
07/09/2019	16.22	0.00	80.08
08/09/2019	16.80	0.00	76.50
09/09/2019	14.80	0.00	83.75
10/09/2019	15.59	0.04	81.58
11/09/2019	15.98	0.00	79.46
12/09/2019	16.12	0.00	79.88
13/09/2019	14.43	0.00	86.96
14/09/2019	14.83	0.00	84.63
15/09/2019	15.78	0.00	82.08
16/09/2019	16.19	0.00	81.50
17/09/2019	15.50	0.01	84.38
18/09/2019	14.44	0.01	87.96
19/09/2019	16.49	0.00	79.67
20/09/2019	16.05	0.09	81.50
21/09/2019	14.92	0.06	89.79
22/09/2019	16.03	0.00	84.92
23/09/2019	16.21	0.00	83.71
24/09/2019	16.35	0.00	83.33
25/09/2019	16.61	0.01	81.96
26/09/2019	16.99	0.00	79.79
27/09/2019	16.56	0.00	79.88
28/09/2019	17.39	0.00	77.13
29/09/2019	18.48	0.00	73.83
30/09/2019	16.77	0.00	82.08

Octubre				
FECHA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm)	HUMEDAD (%)	
01/10/2019	17.07	0.00	81.71	
02/10/2019	17.03	0.00	81.88	
03/10/2019	17.63	0.00	79.50	
04/10/2019	16.62	0.00	82.46	
05/10/2019	15.21	0.01	86.96	
06/10/2019	15.07	0.03	85.75	
07/10/2019	15.71	0.00	80.88	
08/10/2019	15.35	0.00	83.58	
09/10/2019	15.88	0.01	79.96	
10/10/2019	14.63	0.00	85.58	
11/10/2019	14.90	0.00	81.58	
12/10/2019	15.64	0.01	77.63	
13/10/2019	15.65	0.00	78.25	
14/10/2019	18.09	0.00	71.38	
15/10/2019	16.37	0.00	78.88	
16/10/2019	18.32	0.00	75.29	
17/10/2019	17.88	0.00	76.96	
18/10/2019	17.53	0.00	79.58	
19/10/2019	17.08	0.00	81.13	
20/10/2019	16.88	0.00	80.42	
21/10/2019	16.78	0.00	79.38	
22/10/2019	15.77	0.01	82.13	
23/10/2019	16.54	0.00	78.21	
24/10/2019	16.77	0.01	78.58	
25/10/2019	17.28	0.00	76.67	
26/10/2019	16.51	0.00	78.04	
27/10/2019	17.75	0.00	74.33	
28/10/2019	17.99	0.00	73.54	
29/10/2019	16.82	0.00	79.17	
30/10/2019	17.78	0.00	75.21	
31/10/2019	19.48	0.00	71.96	

ANEXO 2: Cronograma de actividades en la lechuga. La Molina, 2019

Fecha	DDT	Labor	Observación
03/06/2019	-73	Riego de machaco	Gravedad
24/06/2019	-52	Preparación del terreno	Arado
04/07/2019	-42	Delimitación de parcelas	Cal, estacas, cordel
12/07/2019	-34	Colocación de cintas de riego	
20/07/2019	-26	Almacenado de lechuga	Bandejas de 72 celdas
25/07/2019	-21	Desahije de lechuga	
01/08/2019	-15	Instalación de trampas amarillas	4 trampas
14/08/2019	-2	Preparación de Iones ferrato	07:00 a.m.
14/08/2019	-2	Riego con los tratamientos	04:00 p.m.
16/08/2019	0	Trasplante	Manual
16/08/2019	0	Riego	Riego 2-3/semana
19/08/2019	3	Riego	
21/08/2019	5	Riego	
23/08/2019	7	Riego	
26/08/2019	10	Desmalezado	Manual
29/08/2019	13	Riego	
30/08/2019	14	Aplicación sanitaria	Confidor 0.5L/1000L
31/08/2019	15	Riego	
03/09/2019	18	Riego	
04/09/2019	19	Cambio de aceite en trampas	Aceite agrícola
06/09/2019	21	Riego	
09/09/2019	24	Riego	
11/09/2019	26	Desmalezado	Manual
12/09/2019	27	Riego	
16/09/2019	31	Riego	
19/09/2019	34	Riego	
20/09/2019	35	Desmalezado	Manual
21/09/2019	36	Aplicación sanitaria	Benlate 1L/1000L
23/09/2019	38	Riego	
26/09/2019	41	Riego	
26/09/2019	41	Aplicación sanitaria	Benlate 1L/1000L
30/09/2019	45	Riego	
01/10/2019	46	Desmalezado	
03/10/2019	48	Riego	
07/10/2019	52	Riego	
09/10/2019	54	Riego	
10/10/2019	55	Desmalezado	Manual
11/10/2019	56	Riego	
14/10/2019	59	Primera cosecha	
18/10/2019	63	Riego	
21/10/2019	66	Segunda cosecha	
23/10/2019	68	Riego	
28/10/2019	73	Tercera cosecha	

ANEXO 3: Concentración promedio de metales pesados en el agua de riego sin tratar y tratada con iones ferrato

Metales	Unidad de medida	L.D.	Agua de riego sin tratar	Agua de riego tratada
Aluminio total	mg/L	0.00251	0.072	0.027
Antimonio total	mg/L	0.00004	0.005	0.002
Arsénico total	mg/L	0.00009	0.023	0.003
Bario total	mg/L	0.00012	0.028	0.024
Berilio total	mg/L	0.00005	<0.00005	< 0.00005
Boro total	mg/L	0.00027	0.323	0.311
Cadmio total	mg/L	0.00006	0.000	0.000
Cobalto total	mg/L	0.00005	0.000	0.001
Cobre total	mg/L	0.00005	0.006	0.006
Cromo total	mg/L	0.00004	0.001	0.001
Estaño total	mg/L	0.00006	0.001	0.000
Estroncio total	mg/L	0.00006	0.945	0.925
Litio total	mg/L	0.00004	0.122	0.119
Mercurio total	mg/L	0.00007	0.000	0.000
Plata total	mg/L	0.00002	0.000	0.000
Plomo total	mg/L	0.00005	0.003	0.001
Selenio total	mg/L	0.0021	<0.0021	< 0.0021
Silicio total	mg/L	0.00039	7.160	5.483
Talio total	mg/L	0.00004	<0.00004	0.000
Titanio total	mg/L	0.00013	0.001	0.001
Vanadio total	mg/L	0.00005	0.005	0.001
Zinc total	mg/L	0.0015	0.024	0.010

Fuente: Laboratorio TYPASA - PERÚ, 2019

*L. D: Límite de detección del método.

*Metales encontrados en el agua de riego sin y con iones ferrato según análisis de agua.

ANEXO 4: Datos de metales pesados en las muestras de lechuga

Muestra	Unidad	Arsénico	Cadmio	Cromo	Plomo
M1	mg/kg	0.0564	0.0385	0.0594	0.0331
M2	mg/kg	0.0564	0.0394	0.0594	0.0278
M3	mg/kg	0.0651	0.0260	< 0.0198	0.0278
M4	mg/kg	0.0564	0.025	0.0594	0.0278
M5	mg/kg	< 0.0188	0.0304	0.0594	0.0278
M6	mg/kg	< 0.0188	0.0355	0.0594	0.0278
M7	mg/kg	0.0564	0.042	0.0594	0.0278
M8	mg/kg	0.0564	0.0466	0.0594	0.0316
M9	mg/kg	< 0.0188	0.0389	0.0594	0.0286
M10	mg/kg	0.0564	0.0443	0.0594	0.0419
M11	mg/kg	< 0.0188	0.0286	0.0594	0.0278
M12	mg/kg	0.0564	0.0546	0.0594	0.0382
M13	mg/kg	0.0564	0.0549	0.0594	0.035
M14	mg/kg	0.0564	0.0466	0.0594	0.044
M15	mg/kg	0.0564	0.077	0.0935	0.0553
M16	mg/kg	0.0564	0.0655	0.0594	0.039
M17	mg/kg	0.0564	0.039	0.0594	0.0404
M18	mg/kg	0.0564	0.0596	0.0594	0.0557
M19	mg/kg	0.0564	0.0764	0.0594	0.0507
M20	mg/kg	< 0.0188	0.0302	0.0613	0.0468
M21	mg/kg	< 0.0188	0.0429	0.0594	0.038
M22	mg/kg	< 0.0188	0.0558	0.0594	0.0301
M23	mg/kg	< 0.0188	0.057	< 0.0198	0.0278
M24	mg/kg	0.243	0.0991	0.1651	0.1188
M25	mg/kg	< 0.0188	0.0448	0.0594	0.0278
M26	mg/kg	0.0564	0.0677	0.0594	0.0606
M27	mg/kg	< 0.0188	0.041	< 0.0198	0.0278
M28	mg/kg	0.0564	0.0592	0.0594	0.0317
M29	mg/kg	0.0564	0.0783	0.0594	0.0371
M30	mg/kg	< 0.0188	0.0354	0.0594	0.0323
M31	mg/kg	0.0564	0.042	0.0594	0.0278
M32	mg/kg	0.0564	0.0622	< 0.0198	0.0304
M33	mg/kg	< 0.0188	0.0447	0.0594	0.0278
M34	mg/kg	0.0564	0.0506	0.0594	0.0278
M35	mg/kg	< 0.0188	0.0659	0.0594	0.0278
M36	mg/kg	< 0.0188	0.0233	0.0594	0.0278
M37	mg/kg	< 0.0188	0.0534	0.0594	0.0278
M38	mg/kg	< 0.0188	0.0392	0.0594	0.0278

M39	mg/kg	0.0564	0.0871	0.0594	0.0733
M40	mg/kg	0.0564	0.0484	0.0594	0.0477
M41	mg/kg	0.0564	0.0525	0.0594	0.0346
M42	mg/kg	0.0564	0.0525	< 0.0198	0.0346
M43	mg/kg	0.0564	0.0525	0.0594	0.0278
M44	mg/kg	0.0564	0.0525	0.0594	0.0346
M45	mg/kg	0.0564	0.0525	0.0594	0.0346
M46	mg/kg	0.1085	0.0572	0.0759	0.0410
M47	mg/kg	< 0.0188	0.0572	< 0.0198	0.0278
M48	mg/kg	0.1085	0.0572	0.0759	0.0410
M49	mg/kg	0.1085	0.0572	0.0759	0.0410
M50	mg/kg	< 0.0188	0.0572	0.0759	0.0278
M51	mg/kg	0.0564	0.0530	0.0626	0.0401
M52	mg/kg	0.0564	0.0530	< 0.0198	0.0401
M53	mg/kg	< 0.0188	0.0530	0.0626	0.0401
M54	mg/kg	< 0.0188	0.0530	< 0.0198	0.0401
M55	mg/kg	0.0564	0.0530	0.0626	0.0401
M56	mg/kg	0.0578	0.0342	0.0594	0.0289
M57	mg/kg	< 0.0188	0.0342	0.0594	0.0289
M58	mg/kg	0.0578	0.0342	< 0.0198	0.032
M59	mg/kg	0.0578	0.0342	< 0.0198	0.0289
M60	mg/kg	< 0.0188	0.0342	< 0.0198	0.0289

ANEXO 5: Análisis de varianza (ANVA) para la variable rendimiento (Tn/ha)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	535.53	5	107.11	44.73	0.0001
BLOQUE	463.28	3	154.43	64.49	0.0001
TRATAMIENTO	72.26	2	36.13	15.09	0.0046*
Error	14.37	6	2.39		
Total	549.9	11			

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Rendimiento (tn/ha)	12	0.97	0.95	3.7

Comparación de medias: Duncan Test

Error: 2.3947 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.			
T2	38.81	4	0.77	A		
T1	41.98	4	0.77		B	
T0	44.82	4	0.77			C

ANEXO 6: Análisis de varianza (ANVA) para la variable peso promedio (g)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	81107.28	5	16221.46	44.76	0.0001
BLOQUE	70162.26	3	23387.42	64.53	0.0001
TRATAMIENTO	10945.02	2	5472.51	15.1	0.0046 *
Error	2174.53	6	362.42		
Total	83281.81	11			

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Peso promedio (g)	12	0.97	0.95	3.69

Comparación de medias: Duncan Test

Error: 362.4212 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.			
T2	477.68	4	9.52	A		
T1	516.66	4	9.52		B	
T0	551.62	4	9.52			C

ANEXO 7: Análisis de varianza (ANVA) para la variable diámetro (cm)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7.17	5	1.43	9.03	0.0092
BLOQUE	3.78	3	1.26	7.94	0.0164
TRATAMIENTO	3.39	2	1.69	10.67	0.0106 *
Error	0.95	6	0.16		
Total	8.12	11			

Variable	N	R²	R² Aj	CV
DIAMETRO (cm)	12	0.88	0.78	2.64

Comparación de medias: Duncan Test

Error: 0.1587 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.		
T2	14.38	4	0.2	A	
T1	15.22	4	0.2		B
T0	15.66	4	0.2		B

ANEXO 8: Análisis de varianza (ANVA) para la variable altura (cm)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.78	5	0.56	1.37	0.3526
BLOQUE	1.3	3	0.43	1.07	0.4305
TRATAMIENTO	1.48	2	0.74	1.82	0.2407
Error	2.44	6	0.41		
Total	5.22	11			

Variable	N	R²	R² Aj	CV
ALTURA (cm)	12	0.53	0.14	4.43

Comparación de
medias: Duncan Test

Error: 0.4062 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T1	13.99	4	0.32	A
T2	14.32	4	0.32	A
T0	14.85	4	0.32	A

ANEXO 9: Análisis de varianza (ANVA) para la variable número de hojas

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16.83	5	3.37	5.27	0.0335
BLOQUE	8.67	3	2.89	4.52	0.0553
TRATAMIENTO	8.17	2	4.08	6.39	0.0326 *
Error	3.83	6	0.64		
Total	20.67	11			

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Número de hojas	12	0.81	0.66	4.28

Comparación de medias:
Duncan Test

Error: 0.6389 gl: 6

TRATAMIENTO	Media	n	E.E.		
	s				
T2	17.75	4	0.4	A	
T1	18.5	4	0.4	A	B
T0	19.75	4	0.4		B

ANEXO 10: Análisis de varianza (ANVA) para la variable materia seca (%)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6.34	5	1.27	40.01	0.0002
BLOQUE	5.73	3	1.91	60.3	0.0001
TRATAMIENTO	0.61	2	0.3	9.56	0.0136*
Error	0.19	6	0.03		
Total	6.53	11			

Variable	N	R²	R² Aj	CV
PORCENTAJE DE MATERIA SECA	12	0.97	0.95	3.62

Comparación de medias:
Duncan Test

Error: 0.0317 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.		
T0	5.19	4	0.09	A	
T1	4.93	4	0.09	A	B
T2	4.64	4	0.09		B

ANEXO 11: Análisis de varianza (ANVA) para la variable metales pesados As, Cd, Cr y Pb (mg/kg)

Arsénico

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.02	5	3.80E-03	1.64	0.2817
BLOQUE	0.01	3	4.70E-03	2.04	0.2095
TRATAMIENTO	4.70E-03	2	2.40E-03	1.03	0.413
Error	0.01	6	2.30E-03		
Total	0.03	11			

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Arsénico (mg/kg)	12	0.58	0.22	62.64

Comparación de medias: Duncan Test

Error: 0.0023 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T2	0.06	4	0.02	A
T1	0.07	4	0.02	A
T0	0.1	4	0.02	A

Cadmio

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8.30E-04	5	1.70E-04	16.85	0.0018
BLOQUE	8.20E-04	3	2.70E-04	27.94	0.0006
TRATAMIENTO	4.40E-06	2	2.20E-06	0.23	0.8042
Error	5.90E-05	6	9.80E-06		
Total	8.80E-04	11			

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Cadmio (mg/kg)	12	0.93	0.88	6.3

Comparación de medias: Duncan Test

Error: 0.0000 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T1	0.05	4	1.60E-03	A
T0	0.05	4	1.60E-03	A
T2	0.05	4	1.60E-03	A

Cromo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.50E-04	5	1.10E-04	2.74	0.1261
BLOQUE	4.10E-04	3	1.40E-04	3.43	0.0927
TRATAMIENTO	1.40E-04	2	6.80E-05	1.7	0.2608
Error	2.40E-04	6	4.00E-05		
Total	7.90E-04	11			

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Cromo (mg/kg)	12	0.7	0.44	9.92

Comparación de medias: Duncan Test

Error: 0.0000 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T2	0.06	4	3.20E-03	A
T1	0.06	4	3.20E-03	A
T0	0.07	4	3.20E-03	A

Plomo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.70E-04	5	7.40E-05	2.98	0.108
BLOQUE	3.50E-04	3	1.20E-04	4.67	0.052
TRATAMIENTO	2.30E-05	2	1.10E-05	0.46	0.6528
Error	1.50E-04	6	2.50E-05		
Total	5.20E-04	11			

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Plomo (mg/kg)	12	0.71	0.47	13.33

Comparación de
medias: Duncan Test

Error: 0.0000 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T1	0.04	4	2.50E-03	A
T0	0.04	4	2.50E-03	A
T2	0.04	4	2.50E-03	A