

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Efecto del Yoduro de Potasio en la Morfología y Fisiología del Melón (*Cucumis melo* L.) en Invernadero

Por:

ALONSO EVERARDO CONSTANTINO DÍAZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Efecto del Yoduro de Potasio en la Morfología y Fisiología del Melón
(*Cucumis melo* L.) en Invernadero

Por:

ALONSO EVERARDO CONSTANTINO DÍAZ

TESIS

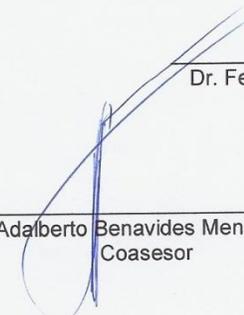
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada



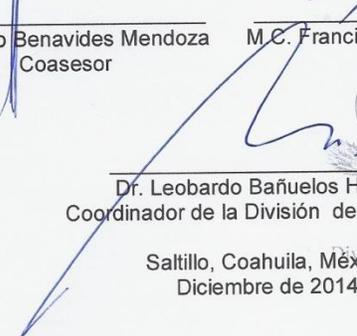
Dr. Fernando Borrego Escalante
Asesor Principal



Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Coasesor



M.C. Francisco Alfonso Gordillo Melgoza
Coasesor



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México
Diciembre de 2014



AGRADECIMIENTOS

A mi “**Alma Terra Mater**” **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por abrirme sus puertas y haberme formado profesionalmente.

A **todos mis maestros de la Universidad**, a quienes agradezco infinitamente por transmitirme sus conocimientos y experiencias que son la base de mi formación profesional.

Con gran respeto y admiración a:

Al **Dr. Fernando Borrego Escalante** por darme la oportunidad de realizar este proyecto de investigación. Gracias por la dedicación y disponibilidad para la asesoría del presente trabajo.

Al **Dr. Adalberto Benavides Mendoza** gracias por formar parte por la realización de este proyecto.

Al **M.C. Francisco Alfonso Gordillo Melgoza** por su sincera amistad, por la valiosa colaboración y apoyo durante la realización de éste trabajo.

A **Lic. Sandra López Betancourt** por su colaboración en el en la realización del trabajo.

A mis compañeros de la especialidad de **INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN** generación “CXVIII” que compartieron mi estancia en la Universidad, **Jorge Cadenas, Andrés, Gregorio, Jesús, Emir, Jáuregui, Vela, Luis, Adolfo, Lalo jarocho, Eduardo, Treviño, Dulce, Verónica, Ismael, Jaime, Gris, Gerardo, Lety, Rodolfo, Arturo, Oscar, Riquelme, Eleuterio, Ícela, Enrique.**

DEDICATORIAS

A **Dios** por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A mis padres **Aurora Díaz Gómez y Pedro Constantino Cárdenas**. Por darme la vida, por quererme, apoyarme, por confiar en mí y sobre todo amor y afecto que siempre me han dado. Gracias por ser mis padres.

A mi hermano, **José Eriberto Constantino Díaz**. Por la comprensión, apoyo económico y moral que siempre me han brindado para poder concluir mis estudios y formación profesional.

A todos que de alguna u otra forma participaron gracias.

ÍNDICE

RESUMEN	viii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
HIPÓTESIS	4
REVISIÓN DE LITERATURA	5
Historia del yodo.....	5
Yodo	6
El yodo en el suelo.....	7
Aplicación de yodo en la agricultura.....	10
Parámetros fisiotécnicos	11
Fotosíntesis	11
Respiración.....	13
Transpiración.....	14
Conductancia estomática	15
Uso eficiente del agua	16
MATERIALES Y MÉTODOS	18
Localización del área de estudio	18
Tratamiento.....	18
Material genético utilizado.....	18
Establecimiento del cultivo.....	19
Preparación de charola	19
Trasplante	19
Riego	19
Fertilización.....	19
Deshierbe y poda	20
Polinización.....	20
Control de plagas y enfermedades	21

Toma de datos con el fotosintetómetro portátil	21
Material y equipo utilizado.....	21
Variables evaluadas.....	22
Variables morfológicas	22
Variables agronómicas	22
Variables fisiológicas	22
Diseño experimental	23
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
Parámetros fisiológicos	42
CONCLUSIÓN	45
LITERATURA CITADA	46
Apéndice	50

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.0 Solución nutritivas para 1000 litros de agua	20
Cuadro 3.0 Insecticidas y fungicidas aplicados para control de plagas y enfermedades durante el desarrollo fenológico del cultivo.....	21
Cuadro 4.1. Resultado del análisis de varianza a los 46 días después de trasplante de las variables morfológicas en melón (<i>Cucumis melo</i> L.) hibrido Cruiser F1.	25
Cuadro 4.2. Medias de la concentración de yoduro de potasio en las variables morfológicas.	27
Cuadro 4.3. Medias de la forma de aplicación del yoduro de potasio en las variables morfológicas a los 46 días después de trasplante	28
Cuadro 4.4. Medias de la interacción aplicación*concentración en el cultivo de melón a los 46 días después de trasplante.....	29
Cuadro. 4.5. Resultado del análisis de varianza a los 91 días después de trasplante de las variables morfológicas en melón (<i>Cucumis melo</i> L.) hibrido Cruiser F1.....	34
Cuadro 4.6. Medias de la concentración de yoduro de potasio en las variables morfológicas a los 91 días después de trasplante.	35
Cuadro 4.7. Medias de la forma de aplicación del yoduro de potasio en las variables morfológicas a los 91 días después de trasplante.	36
Cuadro. 4.8. Tabla de las medias y desviaciones estándar de la interacción en variables morfológicas.....	38
Cuadro 4.9 Análisis de varianza a los 46 días de después de trasplante en las variables fotosintéticas.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Medias de la interacción de la variable área foliar aplicando yoduro de potasio en melón 2014.....	31
Figura 2. Medias de la interacción: variable número de hojas aplicando yoduro de potasio en melón 2014.....	31
Figura 3. Medias de la interacción de la variable número de flores macho aplicando yoduro de potasio en melón 2014.....	32
Figura 4. Medias de la interacción del variable número de flores hembras	32
Figura 5. Medias de la interacción de la variable peso seco aplicando yoduro de potasio en melón 2014.....	33
Figura 6. Medias de la interacción del variable peso fresco aplicando yoduro de potasio en melón 2014.....	33
Figura 7. Gráfica de la interacción del área foliar con diferentes concentraciones y aplicaciones de yoduro de potasio.....	39
Figura 8. Gráfica de la interacción del número de hojas con diferentes concentraciones y aplicaciones de yoduro de potasio.....	39
Figura 9. Gráfica de la interacción del número de flores macho con diferentes concentraciones y aplicaciones de yoduro de potasio.....	40
Figura 10. Gráfica de la interacción del número de flores hembra con diferentes concentraciones y aplicaciones de yoduro de potasio.....	40
Figura 11. Gráfica de la interacción del peso seco con diferentes concentraciones y aplicaciones de yoduro de potasio.....	41
Figura 12. Gráfica de la interacción del peso fresco con diferentes concentraciones y aplicaciones de yoduro de potasio.....	41

Figura 13. Parámetros fisiológicos en melón aplicando yoduro de potasio	43
Figura 14. Transpiración en melón aplicando yoduro de potasio.	44
Figura 15. Uso eficiente del agua en melón, desde un punto de vista fisiológico aplicando yoduro de potasio.	44

RESUMEN

Con el propósito de observar el comportamiento morfológico y fisiológico en la aplicación de yodo en dos concentraciones para el híbridos Cruiser F₁ de melón en la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO (UAAAN)**. Se realizó el presente estudio durante el ciclo primavera-verano (2014) evaluándose en el invernadero 6 de la UAAAN localizada en Buenavista. Saltillo Coahuila de Zaragoza.

El diseño experimental fué completamente al azar con arreglo factorial 2x3 con 20 repeticiones, un total de 120 plantas de 20 unidades experimentales; el análisis estadístico se llevó a cabo con el paquete estadístico STATISTICA® versión 10 y R Statistical (R versión 3.0.2, 2013).

Las variables evaluadas fueron: **Variables morfológicas:** Número de frutos, número de flores, biomasa fresca y seca de la hoja (g), área foliar (cm²) y número de hojas, **Variables agronómicas:** Número de frutos, rendimiento (t/ha⁻¹). **Variables fisiológicas:** Fotosíntesis (μmol de CO₂ atmosférico fijado, por metro cuadrado de hoja por segundo, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Transpiración en mol H₂O m⁻²s⁻¹, Conductancia estomatal mol m⁻² s⁻¹, Uso Eficiente del Agua (que es la relación de Fotosíntesis y Transpiración, y que por las unidades de medición y los moles de las dos funciones fisiológicas, las unidades son g CO₂ fijados por la Fotosíntesis, por 10 L de H₂O Transpirada por metro cuadrado de hoja por segundo (g CO₂ m⁻²s⁻¹/10 L H₂O m⁻²s⁻¹).

Palabras clave: Yodo, Melón, Fisiología, Yoduro de potasio, Morfología.

INTRODUCCIÓN

La determinación del área foliar de las plantas tiene gran importancia en los estudios relacionados con su crecimiento, productividad y desarrollo, dado que en las hojas se sintetizan los carbohidratos que van a repartirse en los diferentes órganos para la elaboración de tejidos y elaboración de compuestos alimenticios, la capacidad de fotosíntesis de las plantas está directamente relacionada con la superficie foliar.

El área foliar alcanzada por una planta durante ciertos estadíos se ve afectado en el desarrollo de las hojas por factores ambientales, donde de los más importantes son la luz y humedad. La mayoría de las plantas requieren luz para expandirse y producir clorofila, esto asegura que la planta no formará hojas a menos que la luz esté presente para llevar a cabo el proceso de fotosíntesis.

La hoja representa un papel importante en el crecimiento y reproducción de toda la planta, teniendo una serie de funciones que permiten que la planta siga desarrollándose; las principales funciones de las hojas son: fotosíntesis, transpiración, respiración y almacenamiento.

Los tejidos vegetales están formados por elementos químicos que forman biomoléculas, o son utilizados en forma individual como cofactores y catalizadores bioquímicos, siendo el Yodo un elemento que recientemente ha recibido atención por su posible incorporación en tejidos vegetales, de donde el

ser humano lo tomaría para sus requerimientos nutricionales, para un adecuado funcionamiento de la glándula tiroides.

La concentración de yodo encontrada normalmente en tejidos de plantas terrestres es de 0.1 a 1 mg kg⁻¹, pudiendo alcanzar hasta 3 mg kg⁻¹ ó más. Sin embargo, Whitehead, 1975, reportó concentraciones de yodo en *Lolium perenne* de 4.3 hasta 56.9 mg kg⁻¹ en un estudio en donde aplicó yodo al suelo. Igualmente Aller *et al.*, 1990 reportaron valores en el espectro de 0.002 hasta 59 mg kg⁻¹ en diferentes especies de cultivo. La fertilización con yodo en México indica que pueden obtenerse tejidos vegetales comestibles hasta con 156 mg kg⁻¹ de yodo. Es un indicativo claro de la factibilidad de la biofortificación de cultivos en zonas terrestres, con yodo

Salvo su posible función como antioxidante inorgánico, aún no se conoce una función metabólica del yodo en plantas (Benton-Jones, 1998) pero su valor como micronutriente benéfico está bien establecido (Borst Pauwels, 1961). Sin embargo, varias especies de plantas marinas (como el alga denominada “kelp”, *Laminaria digitata*) se reportan como acumuladoras de yodo, alcanzando hasta el 1% de su peso seco como yodo (Leblanc *et al.*, 2006), no apareciendo reportada esta actividad en plantas terrestres, aunque este dato puede indicar que en las plantas terrestres es factible la acumulación de yodo en alta concentración, tal como lo reportan Blasco *et al.*, 2008 en lechuga en cultivo hidropónico.

No se encontró información acerca de la forma en que se acumula en las plantas terrestres ni en cual organelo o estructura lo hace, ya que los estudios normalmente se refieren a la determinación del yodo en estructuras vegetativas. Tampoco se reporta si el yodo se acumula en forma iónica o con valencia cero. Esta última posibilidad es importante desde el punto de vista industrial (Yokohama y Kobayashi, 2003).

El yodo es esencial para los humanos en pequeñas cantidades para asegurar las funciones fisiológicas normales. Es un componente crítico de la función de la glándula tiroides que controla la tasa metabólica, el crecimiento de las estructuras del cuerpo, la función neuronal, entre otros procesos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda ingestas mínimas de 150 a 200 μg de yodo en adultos y de 90 a 120 μg en niños (Risher y Keith, 2009).

Aunque a nivel mundial la OMS estima que unas 740 millones de personas (principalmente en Asia Central) sufren desórdenes fisiológicos originados por deficiencias de yodo, en México la deficiencia de yodo no parece ser un problema común entre la población, como si lo es en cambio el hierro y zinc (Villalpando *et al.*, 2003).

En el caso del yodo, el enfoque de nuestro grupo es el uso de fertilizantes que de forma natural contengan yodo, o bien la adición de sales de yodo a los fertilizantes minerales, con el objetivo de elevar la cantidad de antioxidantes celulares y el potencial antioxidante total en frutos, hojas y semillas, así como, de acuerdo a nuestros resultados, usarlo como herramienta

para de forma indirecta elevar la concentración de zinc en los cultivos cosechados, por lo que el presente trabajo tiene los siguientes:

OBJETIVO

Determinar los cambios en el crecimiento, así como características fisiológicas con las aplicaciones de yodo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Verificar los cambios en el crecimiento y caracteres morfológicos inducidos por la aplicación de yodo.

Verificar si ocurren cambios fisiológicos en los tejidos de la planta por causa de la aplicación de yodo.

HIPÓTESIS

A través de un proceso de tipo oxidativo, el yodo induce cambios en la expresión génica que impactan en las actividades celulares y modifican el crecimiento y fisiología de la planta.

REVISIÓN DE LITERATURA

Historia del yodo

El elemento es descubierto por accidente en la costa francesa en el año de 1811 por el francés Bernard Courtois cuando se trabajaba en un procedimiento para recuperar compuestos de sodio y potasio de algas marinas, el descubrimiento fue anunciado por los químicos franceses Charles Desormes y Nicholas Clément; la naturaleza del elemento es posteriormente establecida en el año 1813 por el también químico francés Joseph Louis Gay-Lusac, quien también le dio el nombre de yodo (Martin, 1966). El elemento en su forma pura es venenoso; al igual que el resto de sus hermanos de la tabla periódica es químicamente activo, ligeramente soluble en agua, pero puede ser soluble en soluciones acuosas de yoduro de potasio, así como alcohol, cloroformo y otros reactivos orgánicos. Se considera un elemento relativamente raro, está ubicado en el lugar 62vo en abundancia en la corteza terrestre, sus diversas formas o compuestos están distribuidos en el agua marina, suelo y rocas; en la naturaleza el elemento es obtenido como un residuo de las minas de nitratos chilenos, así como también de organismos derivados del mar, como es el caso de algas marinas café que concentran yodo en sus tejidos (Martin s.a). Los primeros usos del yodo se dan como antiséptico en la forma de tinturas de yodo (mezcla de alcohol y yodo), se reporta el uso de una de estas mezclas por un cirujano francés en el año de 1839; también es conocido su uso en curación de heridas de batalla durante la guerra civil de Estados Unidos (Mertz, 1977). El elemento es reportado con propiedades bactericidas, esporicidas, fungicidas,

protozoocidas y viricidas. Las bacterias gram positivo y gram negativo pueden ser igualmente afectadas (Norris, 2000).

Yodo

El yodo o iodo es un elemento químico de número atómico 53 situado en el grupo de los halógenos (grupo 17) de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es I y el peso atómico del isótopo más abundante es de 126.9 g mol⁻¹. Es un oligoelemento y se emplea principalmente en medicina, fotografía y como colorante. Químicamente, el yodo es el halógeno menos reactivo y menos electronegativo. Como los restantes halógenos del Grupo VII en la tabla periódica, el yodo forma moléculas diatómicas.

El yodo es el halógeno menos abundante, presentándose en la corteza terrestre con una concentración de 0,14 mg kg⁻¹, mientras que en el agua de mar su abundancia es de 0.052-0.057 mg L⁻¹ (aprox. 4.5 x 10⁻⁷ molar) (Wong, 1991). El yodo para uso medicinal, industrial o alimenticio se obtiene a partir de los yoduros, I⁻, presentes en el agua de mar y en algas, o en forma de yodatos, IO₃⁻ a partir de los nitratos de Chile.

El yodo inorgánico se encuentra en dos formas, el yodato (IO₃⁻) y el yoduro (I⁻). Desde el punto de vista termodinámico la forma inorgánica de yodo más probable (esto es, que se ve químicamente favorecida) es el yodato; de hecho el equilibrio químico esperado resultaría en niveles prácticamente indetectables de yoduro, encontrándose sin embargo concentraciones de

yoduro hasta de 0.038 mg L^{-1} (Tian *et al.*, 1996), con lo que, al menos en los entornos marinos la concentración de yoduro vs yodato es significativamente mayor a la esperada (Wong, 1991), siendo esto al parecer resultado de la actividad reductasa del fitoplankton y de algunos grupos de bacterias. En el suelo el yodo se encuentra tanto como especies inorgánicas como en forma de complejos haloorgánicos (Bostock *et al.*, 2003). En los ambientes edáficos, sin embargo, no se ha reportado actividad de reducción de yodato a yoduro por bacterias o plantas, pero sí se sabe que la materia orgánica del suelo es capaz de reducir el yodato a yoduro (Shimamoto *et al.*, 2009).

El yodo en el suelo

La concentración de yodo disponible en el suelo se encuentra en función del material madre de suelo y la distancia al mar. El contenido promedio de yodo en los suelos es de 3.4 mg kg^{-1} en el subsuelo y de 3.94 mg kg^{-1} en la capa superior. Los rangos de variación del contenido en los suelos van de menos de 2 mg kg^{-1} hasta 92.5 mg kg^{-1} (Salminen, 2005). Tanto en los lechos oceánicos como en el suelo, el yodo es volatilizado por microorganismos (Amachi *et al.*, 2001) y en plantas (Bostock *et al.*, 2003), permitiendo su movilidad entre diferentes regiones. En efecto, según Jiang *et al.*, 2001, la volatilización de yodo por macroalgas marinas contabiliza emisiones entre 107 y 108 g año^{-1} . En el caso de las algas cafés, como *Laminaria*, la volatilización depende de haloperoxidasas dependientes de vanadio (Leblanc *et al.*, 2006). El viento también es un factor involucrado, al movilizar aerosoles marinos hacia las

zonas terrestres, pero su efecto es limitado por la topografía. El aporte de yodo hacia las zonas terrestres por lluvia y nieve es de $16 \text{ g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en promedio, con un aporte por polvos y aerosoles de aproximadamente $9.6 \text{ g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$; estas cantidades disminuyen conforme crece la distancia al mar.

La concentración de yodo en cereales de grano de zonas agrícolas continentales de Europa va desde 0.002 a $0.03 \mu\text{g g}^{-1}$ (mg kg^{-1}), valores bajos en comparación con los arriba citados (Shinonaga *et al.*, 2001).

En cuanto a los factores edáficos que modifican la disponibilidad y absorción del yodo del suelo, se ha encontrado que a mayor cantidad de materia orgánica en el suelo, ocurre mayor absorción del yodo por las plantas, sobre todo cuando este se encuentra en forma de yodato (IO_3^-). Este efecto parece depender de la habilidad de las sustancias húmicas para complejar o adsorber el yodo (proceso al parecer mediado en parte por microorganismos) y disminuir su volatilización (Bostock *et al.*, 2003).

En condiciones naturales se reportó que la mayor parte del yodo (90%) en el suelo se encuentra en complejos orgánicos de polifenoles y residuos de tirosina, mientras que en suelos con bajos contenidos de materia orgánica, hasta el 50% del yodo se encuentra en forma de iones inorgánicos (Hu *et al.*, 2009). Se sabe también que parece existir una relación negativa entre el contenido de arcillas del suelo y la absorción de yodo por las plantas, y que el pH del suelo no parece ejercer efecto alguno en el intervalo de 5.4 a 7.6

(Shinonaga *et al.*, 2001). En este último estudio no se encontró relación entre la concentración de yodo en el suelo y la obtenida en tejidos vegetales.

Por otra parte, los componentes del suelo dan lugar a diferencias en la movilidad del yoduro en comparación con el yodato, siendo el trayecto de este último mucho más lento que el primero (Shimamoto *et al.*, 2009). Otro factor importante descrito en el estudio antes citado parece ser la capacidad reductora del suelo (que depende en buena medida del contenido de materia orgánica), la cual parece inducir cierto grado de especiación del yodato a yoduro, haciendo entonces más fácil la movilización del yoduro hacia capas más profundas del suelo.

Otros factores que modifican el potencial redox del suelo (como la anaerobiosis inducida por inundación) causan el mismo efecto de reducción de yodato a yoduro, (Yamaguchi *et al.*, 2006) encontrando sin embargo que bajo condiciones aerobias el yodo reducido a yoduro no cambiaba a yodato (ya que se espera que el yoduro al oxidarse se transforme en yodo elemental). El dato anterior sin embargo merece comentarse, ya que varios grupos de bacterias marinas y de fitoplancton tienen la capacidad de reducir el yodato a yoduro utilizando enzimas nitrato reductasa o yodato reductasa (Hung *et al.*, 2005). Es interesante preguntarse por qué solamente en entornos marinos se revela esta actividad, si sea esto resultado de falta de estudios en entornos terrestres o por alguna razón ecológica funcional.

El resultado final parece ser la lixiviación irreversible del yoduro hacia los perfiles más profundos de suelo. Los autores también encontraron que tanto en condiciones aerobias como anaerobias parte del yodo se fija en el suelo, tanto asociado a moléculas orgánicas, como en forma de yodo elemental.

La información anterior parece indicar que la forma de estabilizar el yodo en las capas superficiales del suelo, es asociándolo con materia orgánica. Esta habilidad de la materia orgánica de formar complejos con el yodo no parece depender siempre de la actividad microbiana (Yamaguchi *et al.*, 2006), si bien, como se mencionó antes, algunos estudios parecían indicar lo contrario (Amachi, 2008).

Aplicación de yodo en la agricultura

Como complemento a los programas de fortificación de la sal de mesa con yodo, y con el propósito de asegurar la ingesta diaria recomendada de 150-300 μg de yodo día^{-1} (Risher y Keith, 2009) diversos esfuerzos se llevan a cabo para añadir yodo en plantas terrestres (sobre todo en plantas medicinales y hortalizas) para darles mayor valor terapéutico o alimenticio (Cui *et al.*, 2003).

Al aplicar yodo como fertilizante al suelo (en forma de kelp y tierra de diatomeas) la absorción de yodo por hortalizas estaba en función directa de la concentración del elemento en el suelo, hasta alcanzar un límite que se presentó diferente para cada especie vegetal (Weng *et al.*, 2003).

Para verificar su valor fertilizante, el yodo (como yoduro, yodato ú otras formas químicas) fue añadido a la solución nutritiva de un cultivo hidropónico de espinaca, encontrándose que la cantidad de yodo en los tejidos vegetales se elevó al aumentar la concentración en la solución, pero detectando un efecto negativo en concentraciones mayores a 10×10^{-6} molar (1.3 mg L^{-1}) de yoduro, mientras que el yodato no tuvo efecto sobre la acumulación de biomasa en la planta (Zhu *et al.*, 2003).

Adicional al valor fertilizante, el yodo parece funcionar como antioxidante en prácticamente todos los organismos. Se cree que constituye uno de los primeros antioxidantes utilizados por los organismos fotosintéticos primitivos (Venturi y Venturi, 2007). Además de su potencial valor intrínseco como antioxidante, fue demostrado (Blasco *et al.*, 2008) que la aplicación de yodo (como I^-) en solución nutritiva hasta una concentración de 4×10^{-5} molar (0.0051 g L^{-1}), fue capaz de inducir mayor acumulación de antioxidantes orgánicos en hojas de lechuga.

Parámetros fisiotécnicos

Fotosíntesis

La fotosíntesis es un proceso químico que convierte el dióxido de carbono en compuestos orgánicos, especialmente los azúcares, utilizando la energía de la luz solar (Ecologiahoy, 2014).

La fotosíntesis es un proceso endergónico porque se necesita la participación de la energía radiante del sol para iniciar la cadena de reacciones que llevan a la formación de los compuestos orgánicos que almacena el organismo.

La reacción global de la fotosíntesis es:



(CH₂O)_n es una manera abreviada de representar al almidón u otros carbohidratos mediante una fórmula empírica. El almidón es el producto de la fotosíntesis más abundante. La fotosíntesis se ve afectada por diferentes factores medioambientales, como la intensidad y calidad de la luz, la humedad del aire, la temperatura, la disponibilidad de agua, de nutrientes minerales y de dióxido de carbono. La fotosíntesis de una sola hoja se apoya en más de cincuenta reacciones individuales, cada una dependiente de las variables ambientales (Cogua, 2011).

Las plantas utilizan la radiación solar, CO₂ de la atmósfera, agua y nutrientes para producir biomasa (frutos, hojas, tallos y raíces) mediante el proceso de la fotosíntesis. Cuando los estomas de las hojas están abiertos, para permitir la entrada de CO₂, se produce la pérdida de agua a la atmósfera. Esta pérdida de agua es un costo que debe pagar el cultivo para producir, y

debe ser repuesta por la planta mediante la extracción de agua del suelo por las raíces (Gómez, 2010).

Respiración

La respiración es un proceso en todos los seres vivos. La respiración permite a las células producir la energía necesaria para que los seres vivos puedan realizar sus funciones vitales (crecer, reproducirse, transportar nutrientes, defenderse, etc.). Mediante la respiración los seres vivos también expulsan las sustancias de desecho de las células. Al respirar los seres vivos consumen oxígeno y expulsan dióxido de carbono (CO₂).

Este proceso se realiza a través de unas aberturas de hojas y de las partes verdes de la planta, llamadas estomas, y de otra serie de aberturas en la corteza de tallos, llamados lenticelas, o raíces (pelos radicales). La respiración en las plantas sería una especie de proceso contrario al de la fotosíntesis: en la fotosíntesis la planta obtiene dióxido de carbono y expulsa oxígeno; en la respiración la planta toma oxígeno y desprende dióxido de carbono.

Las plantas necesitan de la clorofila para realizar la fotosíntesis, por eso muchos árboles que pierden las hojas en invierno dejan de realizar esta función. Sin embargo las plantas siguen respirando tanto en el invierno como en otras épocas. Mientras que la fotosíntesis solamente se realiza por el día, la respiración se lleva a cabo tanto por el día como la noche. La respiración de las plantas produce la transpiración o pérdida del agua. Cuando falta agua en la

atmosfera las plantas tienen la capacidad de cerrar los estomas para no perder agua.

(<http://www.botanical-online.com/respiracion-plantas.htm> Consultada el 05/01/2014)

Transpiración

La transpiración es un fenómeno que tiene como base el paso de agua del estado líquido a gaseoso, por lo que se requiere una fuente de energía, que es proporcionada por la radiación. Además, es necesario que haya una diferencia de presión de vapor (déficit de presión de vapor, DPV) entre la superficie evaporante y el aire que la rodea. El viento actúa mezclando las capas con mayor contenido de agua con otras de menor contenido, evitando de esta forma que las capas próximas a la superficie evaporante se sature, y por tanto se detenga el proceso de la transpiración (Fernández *et al.*, 2001)

Las plantas pierden casi toda el agua por transpiración estomática, pero también se produce evaporación directa a través de la epidermis foliar (Encarta 2009).

Las células del parénquima o mesófilo acuoso tienen una superficie húmeda en contacto con los espacios intercelulares y estos a su vez se comunican con el medio exterior a través de los estomas, de manera que el agua de las células del mesófilo que se evapora pasa al aire a través de los espacios intercelulares, y por otra parte el agua perdida por el parénquima foliar

es reemplazada por la que llega, procedente de las raíces, a través de los vasos conductores del xilema.

http://www.ecured.cu/index.php/Transpiraci%C3%B3n_en_las_plantas

Conductancia estomática

La conductancia estomática (y por ende la transpiración) reviste gran importancia, ya que la productividad está íntimamente relacionada con el consumo y disponibilidad de agua más que con cualquier otro factor ambiental. Por lo tanto, la capacidad de algunas plantas de mantenerse túrgidas bajo condiciones de escasez de agua en el suelo es una característica beneficiosa para evitar la disminución en la producción, puesto que bajo tales circunstancias el descenso del rendimiento depende de la conductancia estomática (Da Matta, 2004).

(Squeo y León, 2007) reportan que la transpiración es un determinante primario del balance energético de la hoja y del estado hídrico de la planta. Este proceso comprende la evaporación del agua desde la célula superficial en el interior de los espacios intercelulares y su difusión fuera del tejido vegetal, principalmente a través de los estomas, y en menor medida a través de la cutícula y las lenticelas. Junto al intercambio de dióxido de carbono (CO_2), determina la eficiencia de uso del agua de una planta.

Las plantas requieren tanta transpiración debido a los siguientes factores:

- El transporte de nutrientes, hormonas.
- El enfriamiento por evaporación puede ser útil a especies en ambientes cálido, pero no esencial a la adaptación de muchas plantas en muchos medioambientes.

(Ludlow y Muchow, 1990) encuentra que dado que los estomas afectan el flujo de CO₂ en las hojas, como también la pérdida de vapor de agua, las reducciones en la conductancia estomática para conservar agua inevitablemente significan una disminución de la tasa fotosintética. Consecuentemente, la utilidad de reducir la conductancia estomática depende del equilibrio entre la pérdida de producción y la necesidad de prevenir la deshidratación. En hojas con ajuste osmótico, los estomas continúan parcialmente abiertos al disminuir progresivamente el potencial hídrico.

Uso eficiente del agua

La eficiencia del uso del agua se define por la relación entre los gramos del agua transpirados por un cultivo, por gramo de materia seca producida. De esta manera, los cultivos más eficientes en el uso del agua producen más materia seca por gramo de agua transpirado. En plantas que presentan metabolismo C₃ o C₄, el uso más eficiente del agua está directamente correlacionado con el tiempo de apertura estomática y resistencia estomática,

ya que mientras la planta absorbe el CO₂ para la fotosíntesis, el agua se pierde por transpiración, con intensidad variable en función de la conductancia estomática y del gradiente de potencial entre la superficie foliar y la atmósfera, siguiendo una corriente de potenciales hídricos (Pereira-Netto *et al.*, 2002).

(Earl y Davis., 2003) mencionan que el déficit de agua reduce el rendimiento mediante la disminución de la intercepción de la Radiación Solar, debido a una menor área foliar ocasionada por la senescencia temprana; las mayores disminuciones en el rendimiento se producen cuando el déficit hídrico ocurre alrededor de la floración de los cultivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El trabajo experimental se realizó en el año 2014; se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" (UAAAN) en el invernadero número 6, que se ubica al sur de la Ciudad de Saltillo, Coahuila, a 25° 21' 19.29" latitud N, y 101 01' 49.07" longitud W, cuenta con una altitud de 1777 msnm.

Tratamiento

Yodo (yodato de potasio, KI) aplicando en concentraciones de 0,1 y 2×10^{-3} molar, una vez por semana por medio del sistema de riego y una vez cada dos semanas por vía foliar, utilizando como testigo la aplicación de agua. Las aplicaciones se realizaron a partir de los 15 días después del trasplante, con un total de aplicaciones en el suelo de 4 y vía foliar 2 para los 46 días y para los 91 días 10 aplicaciones en el suelo y 5 foliar.

Material genético utilizado

En esta investigación se utilizó el híbrido Cruiser F₁ de melón, con una densidad de población de 37,537 plantas por hectárea.

Establecimiento del cultivo

Preparación de charola

La siembra del híbrido de melón se realizó el 10 de abril del 2014 en una charola de 200 cavidades, utilizando como sustrato peat- moss.

Trasplante

El trasplante se realizó el 17 de mayo del 2014 (40 días después de emergencia), antes del trasplante se realizó la mezcla de sustrato peat moss-perlita a una proporción 80:20, se procedió a colocar el sustrato en contenedores de polietileno color negro de 10 L.

Riego

El riego se llevó acabo con la programación de Timer Hunter SRC, a cada hora, con una duración del riego de 2 minutos con riegos en el día, utilizando un sistema de riego por goteo por espagueti, esto fue de acuerdo a las condiciones del cultivo y las condiciones climatológicas del invernadero.

Fertilización

La solución nutritiva empleada, con macros y micronutrientes se elaboró en base a la propuesto por Steiner, 1984. debido a que es una solución universal que ya está equilibrado los cationes y aniones. En la aplicación de la solución se realizó 12 riegos por día con una duración de 2 minutos.

Cuadro 2.0 Solución nutritivas para 1000 litros de agua

MACRONUTRIENTES	MICRONUTRIENTES
Nitrato de calcio: 800 g.	Sulfato ferroso: 7.7 g.
Sulfato de magnesio: 340 g.	Sulfato de manganeso: 6.75 g
Fosfato de amonio: 98 g.	Sulfato de boro: 7.5 g
Sulfato de potasio: 370 g.	Sulfato de cobre: 13.5 g.
	Sulfato de zinc: 8.18 g.

Deshierbe y poda

Esta actividad se realizó de manera manual durante todo el ciclo del cultivo.

Cuando la planta presentó entre 5 o 6 hojas verdaderas se realizó la poda de forma manual, eliminando el ápice principal de la planta, para estimular el crecimiento de tres guías laterales de segundo orden.

El acomodo de las guías fue conducida con hilos de rafia verticalmente para facilitar el manejo.

Polinización

Esta actividad de polinización se realizó de forma manual a una temperatura de 24°C durante 1 mes, después de los 45 días del trasplante.

Control de plagas y enfermedades

Con el objetivo de controlar problemas de mosquita blanca, se colocaron trampas pegajosas de color amarillo y azul para trips en puntos estratégicos.

Cuadro 3.0 Insecticidas y fungicidas aplicados para control de plagas y enfermedades durante el desarrollo fenológico del cultivo.

Plagas y enfermedades	Producto	Aplicación	Dosis	Adherente Pegodel
Tizón	Proplant 720	2 aplicaciones vía foliar	1.5 L/ha	30 ml
Araña roja	Abaneem	1 aplicación vía foliar	1.2 L/ha	30 ml
Mosca blanca	Picador 70 PH	3 aplicaciones vía foliar	0.500 kg/ha	30 ml

Toma de datos con el fotosintetómetro portátil

La toma de datos con el fotosintetómetro LI-COR 6400 portable photosynthesis system se realizó el 11 de julio del 2014. Se midió una sola vez de las 12:00 a 2:00 de la tarde. La lectura se tomó en diferentes plantas, eligiendo una sola hoja de la parte media del cultivo.

Material y equipo utilizado

LI-COR 3100C: Este aparato se utilizó para que proporcionara datos con respecto al área foliar.

Variables evaluadas

Se realizaron 2 muestreos, la primera a los 46 y 91 días después de trasplante en la morfología de la planta.

Variables morfológicas

Número de frutos

Número de flores

Biomasa fresca y seca de la hoja (g)

Área foliar (cm²)

Número de hojas

Variables agronómicas

Número de frutos

Rendimiento (t ha⁻¹).

Variables fisiológicas

FOTO= Fotosíntesis (μmol de CO_2 atmosférico fijado, por metro cuadrado de hoja por segundo, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

TRANS= Transpiración en $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

COND= Conductancia estomatal $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

UEA= Uso Eficiente del Agua (que es la relación de Fotosíntesis y Transpiración, y que por las unidades de medición y los moles de las dos funciones fisiológicas, las unidades son g CO₂ fijados por la Fotosíntesis, por 10 L de H₂O Transpirada por metro cuadrado de hoja por segundo (g CO₂ m⁻²s⁻¹/10 L H₂O m⁻²s⁻¹).

Las variables fisiológicas se realizaron con el fotosintetómetro portátil LI-6400 (LI-Cor Inc., 1990), a los 56 días después de trasplante.

Diseño experimental

El diseño experimental fué completamente al azar con arreglo factorial 2x3 con 20 repeticiones, un total de 120 plantas de 20 unidades experimentales; el análisis estadístico se llevó a cabo con el paquete estadístico STATISTICA[®] versión 10 y R Statistical (R versión 3.0.2, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los cuadrados medios del análisis de varianza del primer muestreo a los 46 días después de trasplante. Cuadro 4.1. En las variables morfológicas, muestran diferencias estadísticas $p \leq 0.01$ y 0.05 en las fuentes de variación aplicación, concentración y la interacción aplicación*concentración, del yoduro de potasio (KI) en sus diferentes variables (área foliar, peso fresco, seco, número de hojas, número flores hembra y macho).

El análisis de varianza realizado para la variable área foliar Cuadro 4.1, muestra diferencias significativas $p \leq 0.01$ y 0.05 en la forma de aplicación y concentración de yoduro potasio. Por lo tanto en la fuente de variación de la interacción Aplicación*Concentración, estadísticamente no presenta diferencia significativa, con un coeficiente de variación de 23.772 %.

En la variable peso fresco y seco (Cuadro 4.1), el análisis de varianza presentó diferencias significativas al $p \leq 0.01$, en la fuente de variación aplicación y en la interacción aplicación*concentración, sin embargo la concentración no presento significancia estadística. En el número de hojas solo presento diferencias estadísticas al $p \leq 0.05$, en la forma de aplicación del yoduro de potasio en la concentración, y aplicación*concentración no presentó significancia.

Cuadro 4.1. Resultado del análisis de varianza a los 46 días después de trasplante de las variables morfológicas en melón (*Cucumis melo* L.) híbrido Cruiser F1.

FV	GL	Área foliar	Peso fresco	Peso seco	Número de hojas
Aplicación	1	12045350**	70406**	358.8**	249.0*
Concentración	2	4169118*	9727	75	64.4
Aplicación*Concentración	2	3772791	21895**	92.6*	163.8
Error	18	1164575	3445.3	32.1	11.7
CV (%)		23.772	17.6	18.81	12.08

En las variables número de flores hembras y macho presentaron una significancia de $p \leq 0.01$ y 0.05 , en la fuente de variación de aplicación y aplicación*concentración, la concentración no presentó diferencias estadísticas.

Continúan...Cuadro 4.1

FV	GL	Número de flores hembras	Número de flores macho
Aplicación	1	363.5**	2242.7*
Concentración	2	41.6	578.7
Aplicación*Concentración	2	98.3**	1474.7*
Error	18	11.7	519.3
CV (%)		27.241	13.1222

Los efectos del yoduro de potasio en sus diferentes concentraciones (1×10^{-3} y 2×10^{-3} molar, tiene efectos en el desarrollo y morfología del melón. La concentración 1×10^{-3} molar de KI (Cuadro 4.2), tiene los mejores valores del área foliar, con un valor de 5,199.09 cm² con una desviación estándar de

1,935.58, Zhu *et al.*, (2003) encontraron que con aplicaciones de yodo aumentaron la biomasa aérea en espinacas, los peores valores en el desarrollo del área foliar fue la concentración de 2×10^{-3} molar de KI con un valor de $3,768.31 \text{ cm}^2$ con una desviación estándar de 1,334.07. En el número de hojas, los valores más altos lo obtuvo la concentración de 1×10^{-3} molar con 65, y el peor 59.66 hojas con la concentración de 2×10^{-3} molar, con una desviación estándar de 9.86 y 9.41. En el número de flores macho la concentración de yoduro de potasio de 1×10^{-3} molar, dieron como máximo valor de 180 y el valor inferior de 164 flores macho la concentración 2×10^{-3} molar de KI, desviación estándar de 29.57 y 28.22. En la cantidad de número de flores hembras, como resultado final una vez polinizados y fecundados resulten en los frutos, dieron los mejores valores en la concentración de agua pura sin ningún tratamiento con la cantidad de 15.18, comparado con las concentraciones de yoduro de potasio 1×10^{-3} molar y 2×10^{-3} molar valores de 11 y 11.50, con desviaciones estándar de 2.18, 4.16 y 9.38. En la biomasa fresca y seca los valores del peso fue en la concentración 1×10^{-3} molar, Agua y 2×10^{-3} molar, el peso seco 32.76, 30.86 y 26.75, peso fresco 358.5, 348.33 y 293.67 en gramos con una desviación estándar de peso seco (6.7, 4.51 y 9.74), peso fresco (85.21, 50.14 y 124.09).

La forma de aplicación (Cuadro 4.3), foliar del KI tiene los mejores valores de área foliar con un valor de la media de $5,248 \text{ cm}^2$, con una desviación estándar de 1,367.35 y los peores valores lo obtuvo cuando se aplicó el KI al suelo en sus diferentes concentraciones con un valor de $3,831.12 \text{ cm}^2$ y su desviación

estándar de 1,216.55. El número de hojas también hubo cambios en la forma de aplicación foliar del yoduro de potasio con valores de 66.11 hojas con una desviación estándar de 7.74 y con la aplicación del yoduro de potasio directamente al suelo el número de hojas fue menor con una valor de 59.67 hojas con una desviación estándar de 8.72. El número de flores macho los valores estuvieron con 183.33 con la aplicación del yoduro de potasio de manera foliar y con 164 flores machos, al suelo, con una desviación estándar de 23.21 y 26.16. En el número de flores hembras fue afectado considerablemente en la forma de aplicación del yoduro de potasio, la aplicación foliar y al suelo con 16.45 y 8.67 flores hembras, con una desviación estándar de 4.25 y 5.15. En las variables de la biomasa del peso seco y fresco los valores fueron 33.99, 26.26, 387.66 y 279.33 gramos, con una desviación estándar de 4.25, 5.15, 60.14 y 88.15.

Cuadro 4.2. Medias de la concentración de yoduro de potasio en las variables morfológicas.

Concentración	Área foliar		Número de hojas		Número de flores macho	
	media	std	media	std	media	std
1x10 ⁻³ molar	5199.09	1935.58	65	9.86	180	29.57
2x10 ⁻³ molar	3768.31	1334.07	59.66	9.41	164	28.22
Agua	4651.27	516.84	64	6.72	177	20.16

Continua. **Cuadro 4.2.**

Concentración	Número de flores hembras	Std	Peso seco	std	Peso fresco	std
1x10 ⁻³ molar	11.00	4.16	32.76	6.7	358.5	85.21
2x10 ⁻³ molar	11.50	9.38	26.75	9.74	293.67	124.09
Agua	15.18	2.18	30.86	4.51	348.33	50.14

Cuadro 4.3. Medias de la forma de aplicación del yoduro de potasio en las variables morfológicas a los 46 días después de trasplante.

Aplicación	Área foliar	Std	Número de hojas	std	Número de flores macho	std
Foliar	5248	1367.35	66.11	7.74	183.33	23.21
Suelo	3831.12	1216.55	59.67	8.72	164.00	26.16

Continua. **Cuadro 4.3**

Aplicación	Número de flores hembras	std	Peso seco	std	Peso fresco	std
Foliar	16.45	4.25	33.99	5.68	387.66	60.14
Suelo	8.67	5.15	26.26	7.14	279.33	88.15

En el Cuadro 4.4, las medias de la interacción de los factores, la variable área foliar se encontraron valores 6292.98 cm² en la forma de aplicación foliar con una concentración de 1x10⁻³ molar con una desviación estándar de 2050.78, el peor valor lo obtuvo la forma de aplicación al suelo con agua con un valor 4735.70 cm² de área foliar con una desviación estándar de 634.87, como se muestra en la figura 1.

El número de hojas fue de 71.00, lo obtuvo aplicando el yoduro de potasio de manera foliar en una concentración de 1×10^{-3} molar, los valores más bajos fueron de 54 aplicando el yodo al suelo a una concentración de 2×10^{-3} molar, con una desviación estándar 9.90 y 7.79. Se puede ver representado en la figura 2. En el número de flores macho los mejores valores de la interacción, aplicación foliar a una concentración de 1×10^{-3} molar, 198 flores machos, el menor número lo obtuvo la interacción suelo con una concentración de 2×10^{-3} molar, con un valor de 147. Los valores de la desviación estándar 29.70 y 23.37 (figura 3). En el número de flores hembras la mejor interacción fue la aplicación foliar con una concentración de 2×10^{-3} molar de KI con un número de 19 y el peor valor fue suelo con una concentración de 2×10^{-3} molar de KI con un valor de 4 flores hembras, debido al estrés que estaba la planta por el yodo, con valores de la desviación estándar de 7.12 y 2.16 (figura 4). Finalmente biomasa del peso seco y fresco los mejores valores fueron 37.35 con una desviación estándar de 7.72, en la forma de aplicación foliar a una concentración de 1×10^{-3} molar de KI y también el peso fresco con un valor de 424.33 y desviación estándar de 42.70. (Figura 5 y 6).

Cuadro 4.4. Medias de la interacción aplicación*concentración en el cultivo de melón a los 46 días después de trasplante.

Aplicación	Concentración	Área foliar (cm ²)	std	Número de hojas	Std	Número de flores macho	std
Foliar	1x10 ⁻³ molar	6292.98	2050.78	71.00	9.90	198.00	29.70
Foliar	2x10 ⁻³ molar	4884.18	444.28	65.33	7.76	181.00	23.28
Foliar	Agua	4566.85	448.58	62.00	2.45	171.00	7.35
Suelo	1x10 ⁻³ molar	4105.20	1159.80	59.00	5.72	162.00	17.15
Suelo	2x10 ⁻³ molar	2652.45	796.83	54.00	7.79	147.00	23.37
Suelo	Agua	4735.70	634.87	66.00	9.42	183.00	28.25

Continúa **Cuadro 4.4.**

Aplicación	Concentración	Número de flores hembra	std	Peso seco	std	Peso fresco	std
Foliar	1x10 ⁻³ molar	14.67	0.94	37.35	5.72	424.33	42.70
Foliar	2x10 ⁻³ molar	19.00	7.12	33.61	6.97	393.33	78.39
Foliar	Agua	15.67	0.94	31.02	3.14	345.33	32.71
Suelo	1x10 ⁻³ molar	7.33	1.89	28.18	3.98	292.67	59.70
Suelo	2x10 ⁻³ molar	4.00	2.16	19.89	6.93	194.00	57.43
Suelo	Agua	14.67	3.09	30.71	6.16	351.33	69.07

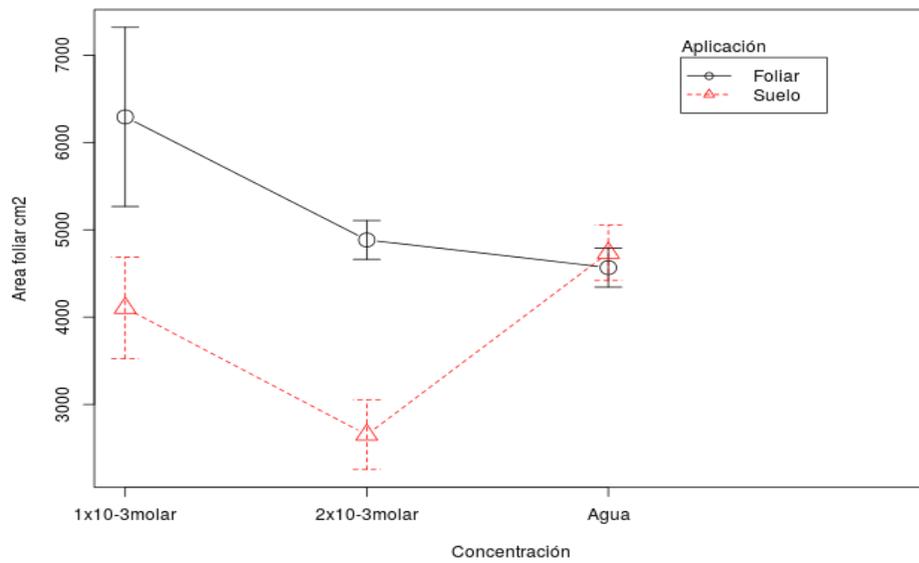


Figura 1. Medias de la interacción de la variable área foliar aplicando yoduro de potasio en melón 2014.

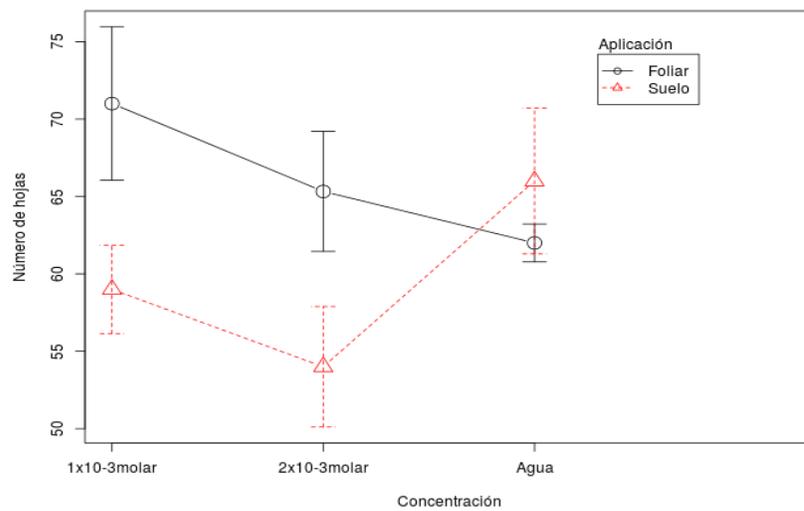


Figura 2. Medias de la interacción: variable número de hojas aplicando yoduro de potasio en melón 2014.

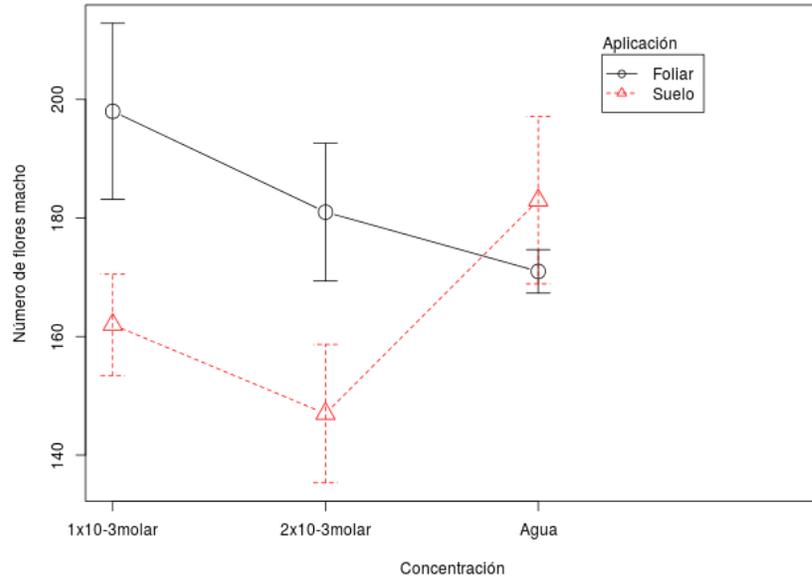


Figura 3. Medias de la interacción de la variable número de flores macho aplicando yoduro de potasio en melón 2014.

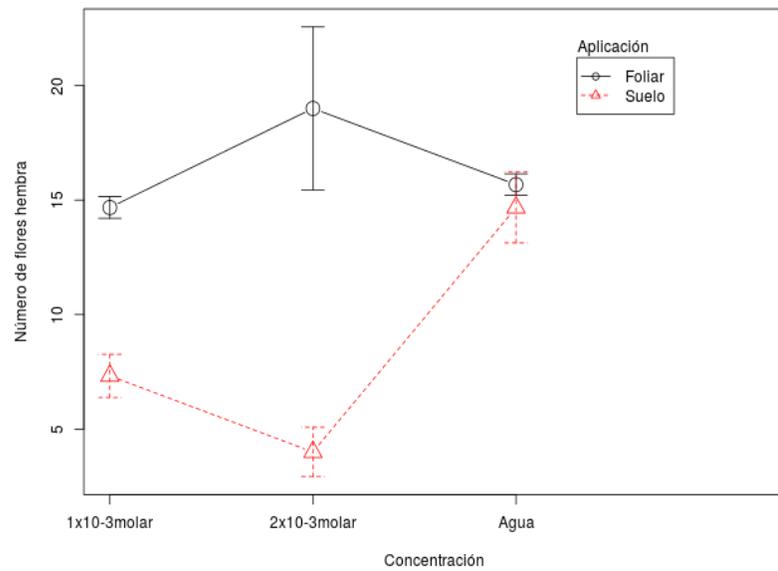


Figura 4. Medias de la interacción del variable número de flores hembras aplicando yoduro de potasio en melón 2014.

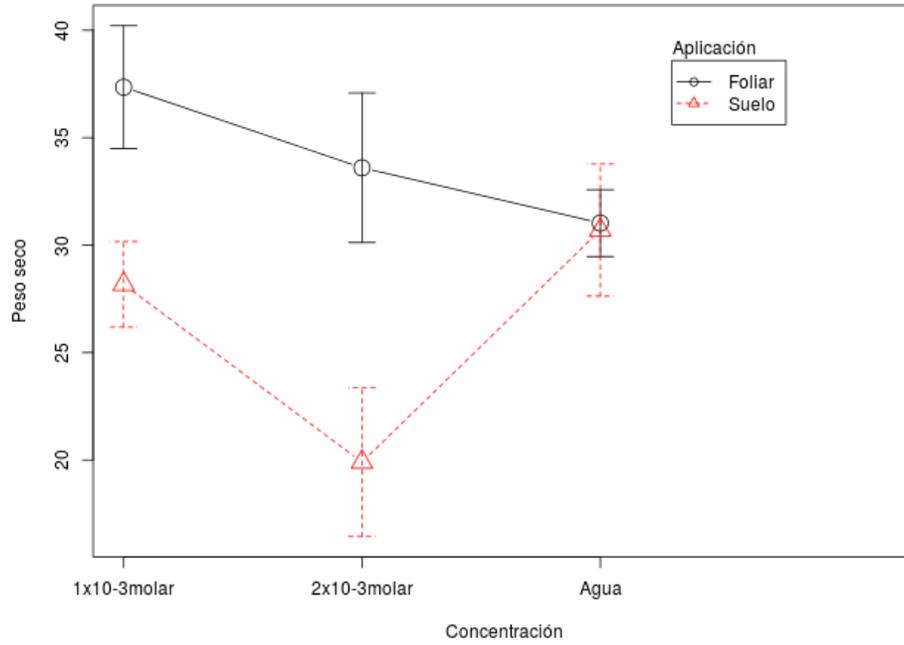


Figura 5. Medias de la interacción de la variable peso seco aplicando yoduro de potasio en melón 2014.

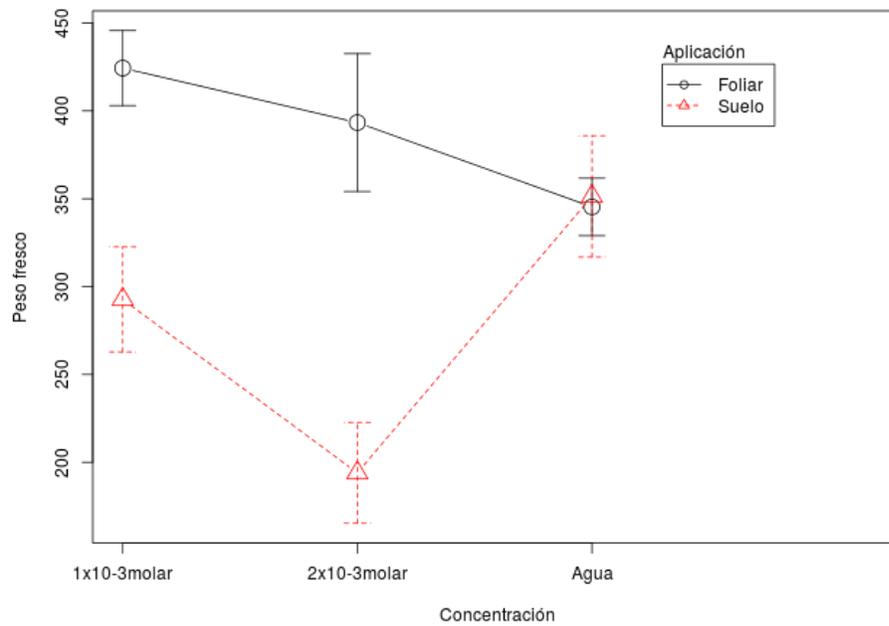


Figura 6. Medias de la interacción del variable peso fresco aplicando yoduro de potasio en melón 2014.

Análisis de varianza del segundo muestreo a los 91 días después de trasplante de las variables morfológicas área foliar, peso fresco, seco, número de hojas, número flores hembra y macho (Cuadro 4.5).

Cuadro. 4.5. Resultado del análisis de varianza a los 91 días después de trasplante de las variables morfológicas en melón (*Cucumis melo* L.) híbrido Cruiser F1.

FV	GL	Área foliar	Número de hojas	Número de flores macho
Aplicación	1	113317517.3**	4648.17	41833.5
Concentración	2	29530757.8	1316.29	11846.63
Aplicación*Concentración	2	33919623.4*	1853.29	16679.63
Error	18	9210303.3	1255.47	11299.25
CV		29.76	29.06	30.31

Continúa **Cuadro. 4.5.**

FV	GL	Número de flores hembras	Peso seco	Peso fresco
Aplicación	1	459.36*	4937.09**	1145377.04
Concentración	2	60.79	947.46	66649.63
Aplicación*Concentración	2	124.63	1466.17*	358132.79
Error	18	77.99	367.96	195615.04
CV (%)		40.99	29.12	51.24

El análisis de varianza realizado para la variable área foliar Cuadro 4.5, muestra diferencias significativas $p \leq 0.01$ y 0.05 en la forma de aplicación y aplicación*concentración y en la concentración de yoduro de potasio. En la variable número de hojas, número de flores macho y peso fresco,

estadísticamente no presenta diferencias significativas en la forma de aplicación, concentración y aplicación*concentración de yoduro potasio. En el número de flores hembra, muestra diferencias significativas al $p \leq 0.05$ en la forma de aplicación de yoduro potasio, en la concentración y aplicación*concentración, estadísticamente no presenta diferencia significativas.

Cuadro 4.6. Medias de la concentración de yoduro de potasio en las variables morfológicas a los 91 días después de trasplante.

Concentración	Área foliar	std	Número de hojas	Std	Número de flores macho	Std
1×10^{-3} molar	10180.86	4494.30	126.75	44.45	365.25	133.35
2×10^{-3} molar	8282.96	4847.49	107.38	38.35	307.13	115.04
Agua	12125.44	2422.04	131.63	31.23	379.88	93.69

Continua. Cuadro 4.6

Concentración	Número de flores hembras	Std	Peso seco	Std	Peso fresco	std
1×10^{-3} molar	22.25	12.62	66.88	30.77	944.63	644.34
2×10^{-3} molar	18.50	10.36	54.51	30.03	764.50	573.65
Agua	23.88	5.91	76.20	14.91	880.25	157.21

En el **Cuadro 4.6** se representan la medias las variables morfológicas y su desviación estándar, las mejores concentración para el área foliar, número de hojas, número de flores macho, hembra y peso seco fue el agua y la peor concentración de yoduro de potasio a 2×10^{-3} molar. Área foliar con un valor de 12125.44 y su desviación estándar de 2422.04, y el peor valor con 8282.96 y su

desviación estándar de 4847.49. El mayor número de hojas con 131.63 y desviación estándar 31.23, el peor valor de 107.38 y desviación estándar 38.35. Número de flores macho con 379.88 y desviación estándar 93.69, peor valor con 307.13 y desviación estándar 115.04. Número de flores hembra con 23.88 y desviación estándar 5.91, peor valor 18.50 y desviación estándar 10.36. Peso seco 76.20 y desviación estándar 14.91 y el peor 54.51 y desviación estándar 30.03. El peso fresco resulto ser el mejor la concentración 1×10^{-3} molar con un valor de 944.63 y desviación estándar de 644.34 y la peor fue el agua con 880.25 y desviación estándar de 157.21.

Cuadro 4.7. Medias de la forma de aplicación del yoduro de potasio en las variables morfológicas a los 91 días después de trasplante.

Aplicación	Área foliar	Std	Número de hojas	std	Número de flores macho	std
Foliar	12369.34	3268.09	135.83	39.16	392.50	117.48
Suelo	8023.50	3990.91	108.00	33.12	309.00	99.37

Continúa **Cuadro 4.7**

Aplicación	Número de flores hembra	std	Peso seco	std	Peso fresco	std
Foliar	25.92	6.72	80.21	21.30	1081.58	500.29
Suelo	17.17	10.78	51.52	24.23	644.67	383.45

En el **Cuadro 4.7** se representa las medias de las variables morfológicas a los 91 días después de trasplante de la forma de aplicación del yoduro de potasio. La mejor aplicación para las variables de área foliar, número de hojas, número de flores macho, hembra, peso seco y fresco, resulto la aplicación foliar de

yoduro de potasio dando los mejores resultados en comparación cuando se aplicó al suelo.

En la interacción de Aplicación*Concentración en el **Cuadro 4.8**, la mejor forma de aplicación fue foliar con la concentración de 1×10^{-3} molar, para área foliar 13131.5 y con una desviación estándar 4238.23, número de hojas 148.5 y desviación estándar 55.4767, número de flores macho 430.5 y desviación estándar 166.43, número de flores hembra 28.25 y desviación estándar 7.93. Peso seco 88.60 y desviación estándar 25.63 y peso fresco 1314.75 y desviación estándar 625.69. En la **figura 7** de la interacción se representa el área foliar donde se observa la diferencia en la forma de aplicación, en la diferentes concentraciones hay un comportamiento similar y en la aplicación*concentración se observa el efecto de la interacción en la concentración 2×10^{-3} molar de yoduro de potasio. En la **figura 8 9 y 12** del número de hojas, número de flores macho y peso fresco tiene un comportamiento similar como se observa en la gráfica. En la variable número hembras y peso seco muestran interacción (**figura 10 y 11**), principalmente cuando se aplica el yoduro de potasio foliar y al suelo a esta misma concentración 2×10^{-3} molar. El yodo cuando se aplica directamente al suelo disminuye la biomasa de la plantas (Hong *et al.*, 2008) (Caffagni *et al.*, 2011), sin embargo estudios realizados en lechugas el efecto toxico del yoduro no es afectado (Voogt *et al.*, 2010)

Cuadro. 4.8. Tabla de las medias y desviaciones estándar de la interacción en variables morfológicas.

Aplicación	Concentración	Área foliar	std	Número de hojas	std	Número de flores macho	Std
Foliar	1x10 ⁻³ molar	13131.5	4238.23	148.5	55.4767	430.5	166.43
Foliar	2x10 ⁻³ molar	12012.8	3736.18	131	39.8581	378	119.574
Foliar	Agua	11963.6	2465.04	128	25.0998	369	75.2994
Suelo	1x10 ⁻³ molar	7230.19	2439.38	105	16.4722	300	49.4166
Suelo	2x10 ⁻³ molar	4553.09	1942.01	83.75	18.8215	236.25	56.4646
Suelo	Agua	12287.2	2746.22	135.25	40.1362	390.75	120.409

Continúa **Cuadro. 4.8**

Aplicación	Concentración	Número de flores hembra	std	Peso seco	Std	Peso fresco	Std
Foliar	1x10 ⁻³ molar	28.25	7.93	88.60	25.63	1314.75	625.69
Foliar	2x10 ⁻³ molar	25.75	7.50	77.10	24.29	1073.00	611.69
Foliar	Agua	23.75	5.74	74.92	16.52	857.00	110.67
Suelo	1x10 ⁻³ molar	16.25	14.59	45.17	17.15	574.50	460.36
Suelo	2x10 ⁻³ molar	11.25	7.37	31.91	12.33	456.00	374.00
Suelo	Agua	24.00	6.98	77.48	15.54	903.50	209.71

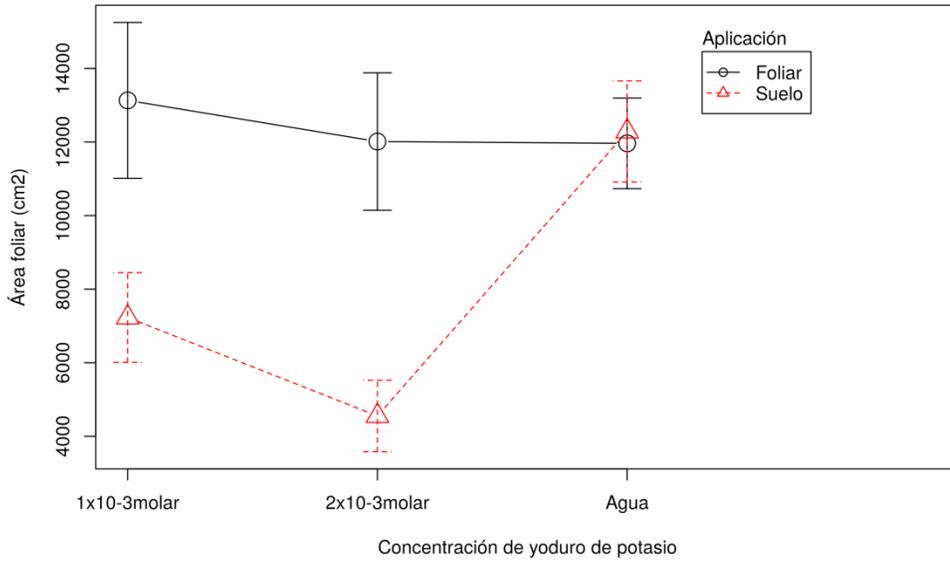


Figura 7. Gráfica de la interacción del área foliar con diferentes concentraciones y aplicaciones de yoduro de potasio.

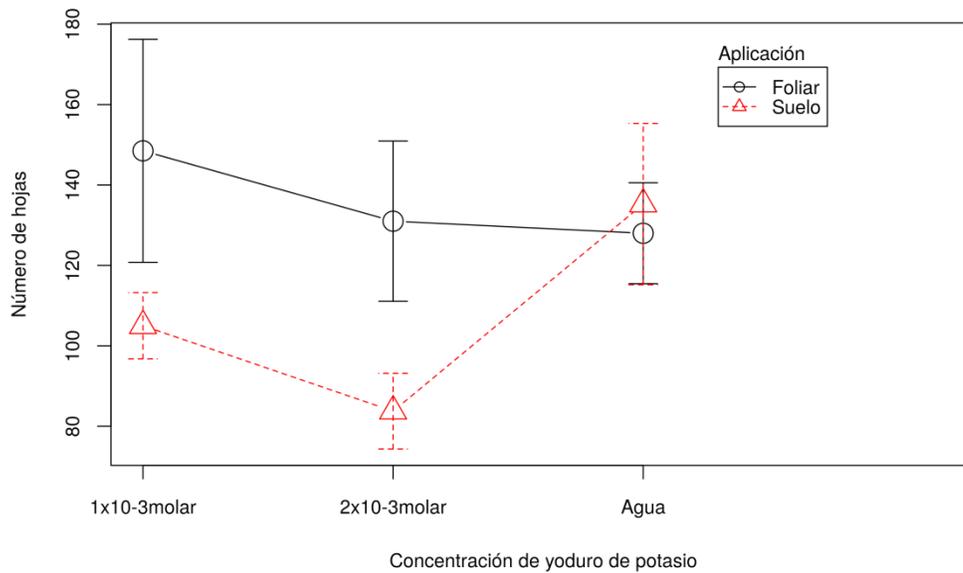


Figura 8. Gráfica de la interacción del número de hojas con diferentes concentraciones y aplicaciones de yoduro de potasio.

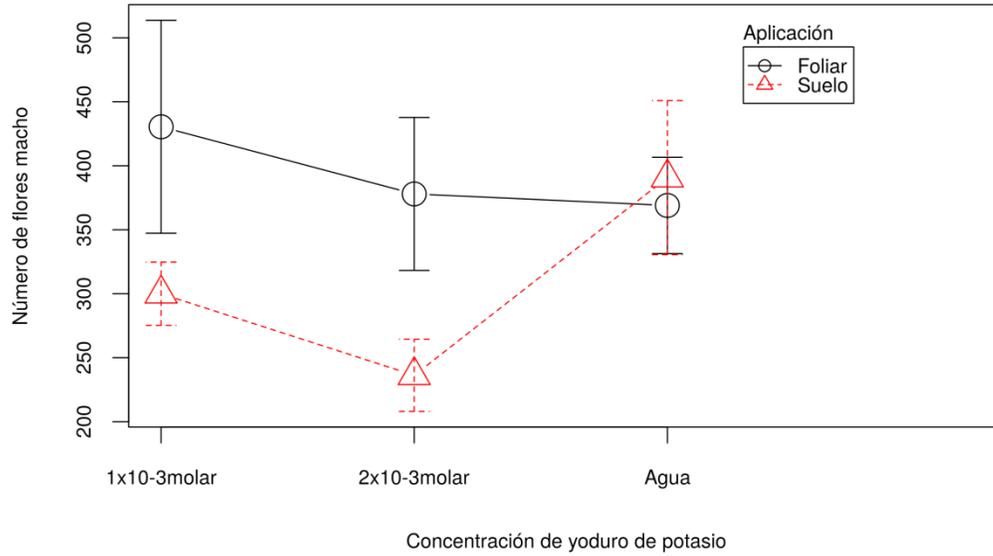


Figura 9. Gráfica de la interacción del número de flores macho con diferentes concentraciones y aplicaciones de yoduro de potasio.

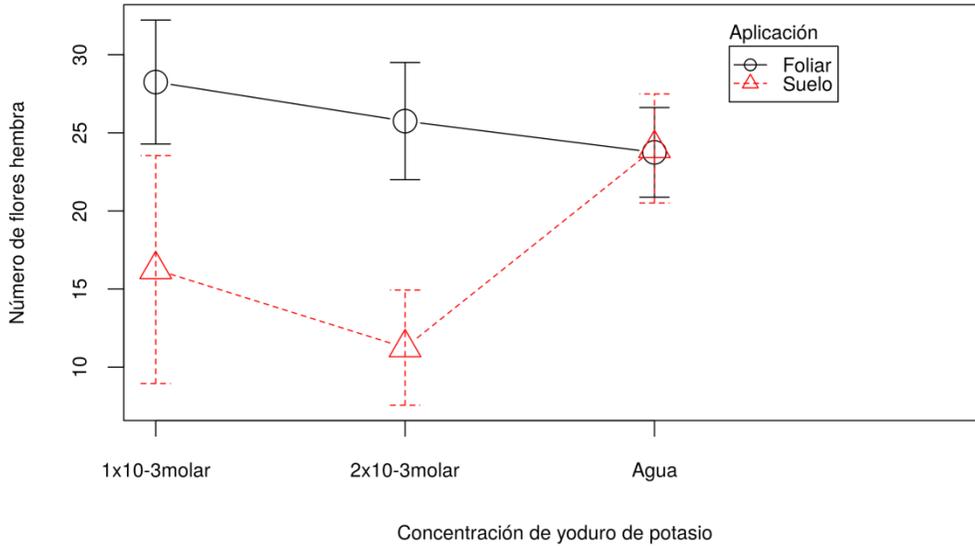
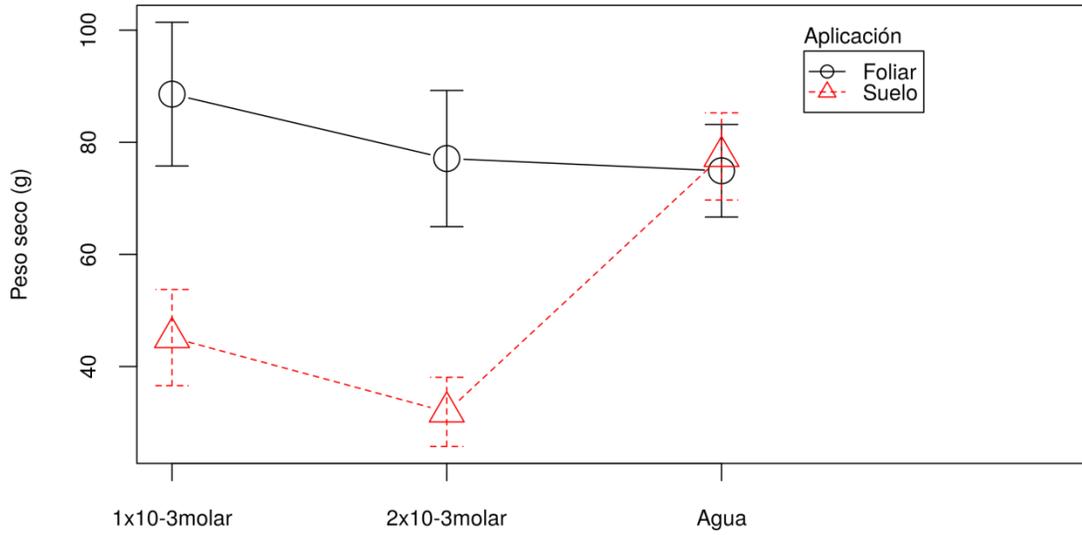
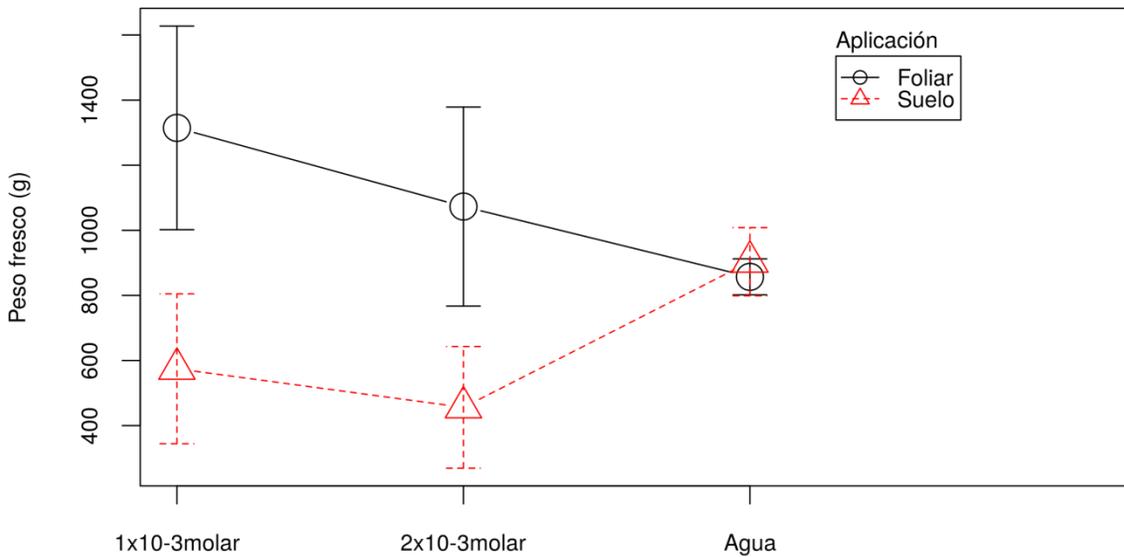


Figura 10. Gráfica de la interacción del número de flores hembra con diferentes concentraciones y aplicaciones de yoduro de potasio.



Concentración de yoduro de potasio

Figura 11. Gráfica de la interacción del peso seco con diferentes concentraciones y aplicaciones de yoduro de potasio.



Concentración de yoduro de potasio

Figura 12. Gráfica de la interacción del peso fresco con diferentes concentraciones y aplicaciones de yoduro de potasio.

Parámetros fisiológicos

En el análisis fisiológico a los 46 días después de trasplante, se realizó el análisis de varianza, Cuadro 4.9, donde las variables de fotosíntesis, Trans y UEA, estadísticamente no fue significativo. Sin embargo en la figura 13, en los efectos de la interacción se observan los diferentes valores de fotosíntesis a los diferentes concentraciones de 1×10^{-3} , 2×10^{-3} molar y agua, siendo la forma de aplicación foliar donde tuvieron los valores más altos de fotosíntesis y valores bajos cuando se aplicó el KI en el suelo.

Cuadro 4.9 Análisis de varianza a los 46 días de después de trasplante en las variables fotosintéticas.

FV	GL	Fotosíntesis	Trans	UEA
Aplicación	1	1.69	7.718	1.674
Concentración	2	0.577	0.654	0.284
Aplicación*Concentración	2	0.273	3.148	3.084
Error	18	1.907	4.195	2.088
CV		26.684	51.707	39.002

Trans: Transpiración, UEA: Uso eficiente del agua.

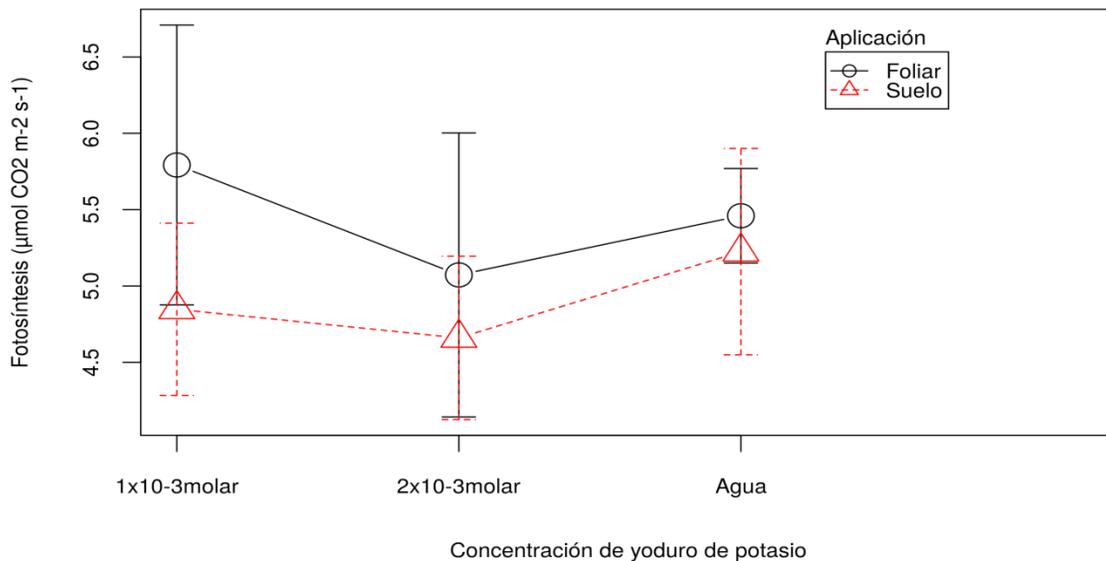


Figura 13. Parámetros fisiológicos en melón aplicando yoduro de potasio.

En la figura 14. Se representa gráficamente como se comportó la transpiración en el cultivo de melón cuando se le aplico yoduro de potasio al suelo y de manera foliar a diferentes concentraciones. Existe un efecto ligero cuando se aplicó de manera foliar y en concentración de 2×10^{-3} molar, es decir cuando se aplicó KI, transpiro más la planta, y esa misma concentración pero aplicado al suelo el efecto fue al contrario la transpiración fue menor, el mismo comportamiento se manejó en el uso eficiente del agua figura 15.

En concentraciones de 3 a 6 mg de yoduro aplicándolo a la solución nutritiva afecta significativa la fotosíntesis, transpiración, conductancia estomática y concentración de C₂O intracelular (Yu *et al.*, 2011).

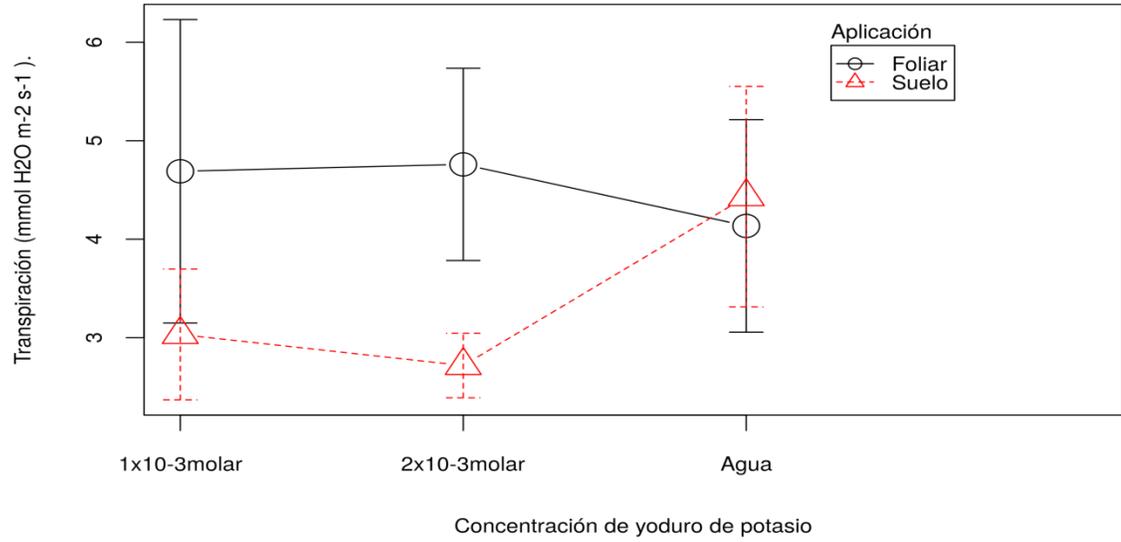


Figura 14. Transpiración en melón aplicando yoduro de potasio.

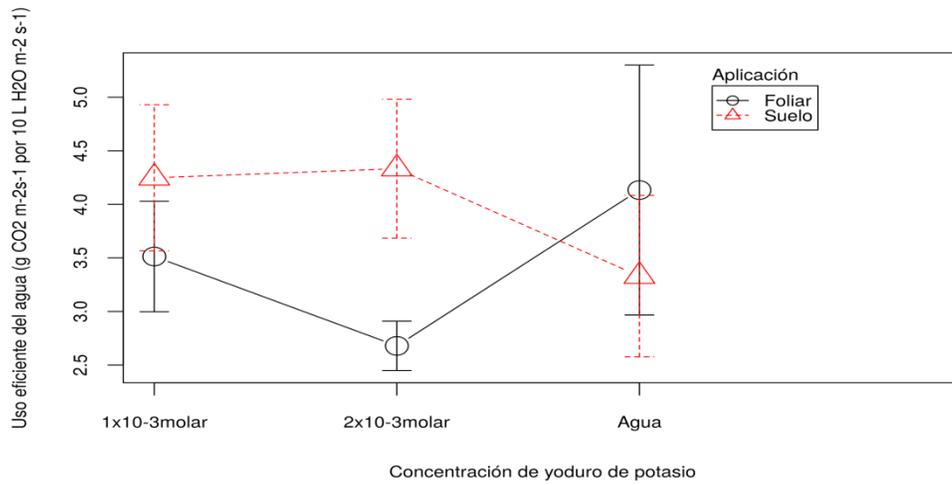


Figura 15. Uso eficiente del agua en melón, desde un punto de vista fisiológico aplicando yoduro de potasio.

CONCLUSIÓN

De acuerdo a los análisis de varianza del primer y segundo muestreo en las variables morfológicas muestras diferencias estadísticamente en las fuentes de variación aplicación, concentración y la interacción aplicación*concentración, en sus diferentes variables (área foliar, peso fresco y seco, número de hojas, número de flores hembra y macho).

Los efectos del yoduro de potasio en sus diferentes concentraciones, tiene efectos positivos y negativos en el desarrollo y morfología del melón en algunas de las variables.

La mejor concentración para todas las variables fue la de 1×10^{-3} molar aplicando el yoduro de potasio de manera foliar.

LITERATURA CITADA

- Aller, A.J., J.L. Bernal, M.J. del Nozal, L. Deban. 1990. Effects of selected trace elements on plant growth. *J. Sci. Food Agric.* 51:447-479.
- Amachi, S. 2008. Microbial contribution to global iodine cycling: volatilization, accumulation, reduction, oxidation, and sorption of iodine. *Microbes Environ.* 23:269-276.
- Amachi, S., Y. Kamagata, T. Kanagawa, Y. Muramatsu. 2001. Bacteria mediate methylation of iodine in marine and terrestrial environments. *Appl Environ Microbiol.* 67:2718-2722.
- Benton Jones, J. (1998) *Plant Nutrition Manual*, CRC Press, UK.
- Blasco, B., J.J. Rios, L.M. Cervilla, E. Sánchez-Rodríguez, J.M. Ruiz & L. Romero. 2008. Iodine biofortification and antioxidant capacity of lettuce: potential benefits for cultivation and human health. *Ann. Appl. Biol.* 152:289–299.
- Borst Pauwels, G.W.F.H. 1961. Iodine as a micronutrient for plants. *Plant Soil* 14:377-392.
- Bostock, A.C., G. Shaw, J.N. Bell. 2003. The volatilisation and sorption of ¹²⁹I in coniferous forest, grassland and frozen soils. *J. Environ. Radioact.* 70:29-42.
- Caffagni, A., Arru, L., Meriggi, P., Milc, J., Perata, P., & Pecchioni, N. (2011). Iodine fortification plant screening process and accumulation in tomato fruits and potato tubers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(6), 706-718.
- COGUA, Jorge. Curso virtual de fisiología vegetal. Bogotá, D. C.: Universidad Nacional de Colombia. {22 septiembre de 2014} disponible en:
- Cui, X., Y. Sang, J. Song. 2003. Residual of exogenous iodine in forest soils and its effect on some wildvegetable plants. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao* 14:1612-1616.
- Da Matta, F. 2004. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. *Brazilian Journal Plant Physiology* 16 (1): 1-6.
- Earl, H.J. and R.F. Davis. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agron. J.* 95(3):688-696.

- Fernández, M.D. Orgaz, F. E. Fereres, J, C. López, A. Céspedes, J. P. 2001. Programa de riego de cultivos hortícolas bajo invernadero para el sudeste español. Edita CAJAMAR. Almería España.
- Gómez, G.R. 2010. Selección de genotipos de Melón (*Cucumis melo* L.), en la región de la paila Coahuila, en base a parámetros fisiotécnicos, fisiológicos y rendimiento.
- Hong C. L., Weng H. X., Qin Y. C., Yan A. L., Xie L. L. (2008). Transfer of iodine from soil to vegetables by applying exogenous iodine. *Agron. Sustain. Dev.* 28 575–583 10.1051/agro:2008033
- Hu, Q., J.E. Moran, V. Blackwood. 2009. Geochemical Cycling of Iodine Species in Soils. In: *Comprehensive Handbook of Iodine. Nutritional, Biochemical, Pathological and Therapeutic Aspects.* Elsevier Inc., Amsterdam. P. 93-105.
- Hung, C.C., G.T.F. Wong, W.M. Dunstan. 2005. Iodate reduction activity in nitrate reductase extracts from marine phytoplankton. *Bul. Mar. Sci.* 76:61-72.
- Jiang, X.M., X.Y. Cao, J.Y. Jiang, M. Tai, D.W. James, M.A. Rakeman, Z.H. Dou, M. Laturnus, F. 2001. Marine macroalgae in polar regions as natural sources for volatile organohalogenes. *Environ Sci Pollut Res Int.* 8:103-108.
- Leblanc, C., C. Colin, A. Cosse, L. Delage, S. La Barre, P. Morin, B. Fiévet, C. Voiseux, Y. Ambroise, E. Verhaeghe, D. Amouroux, O. Donard, E. Tessier, P. Potin. 2006. Iodine transfers in the coastal marine environment: the key role of brown algae and of their vanadium-dependent haloperoxidases. *Biochimie* 88:1773-1785.
- LUDLOW, M. y MUCHOW, R. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in waterlimited environments. *Advances in Agronomy* 43: 107 – 151.
- Martin, J. P. 1966. Chapter 14. Iodine. Department of Soils and Plant Nutrition, University of California Citrus Research Center and Agricultural Experiment Station, Riverside. Pp200-202.
- Mertz, E.T. 1977. *Bioquímica.* Publicaciones Cultural SA. México D.F. pp253, 278- 280.
- Norris, J. 2000. Bioestimulantes para los cultivos. *Agricultura de las Americas,* pp 21-25.

- PEREIRA-NETTO, A. B. Crecimiento e desenvolvimento. In: WACHOWICZ, C. M.; CARVALHO, R. I. N. (Eds.). **Fisiología vegetal** - produção e pós-colheita. Curitiba: Champagnat, 2002. p. 17-42.
- Risher, J.F. and S. Keith. 2009. Iodine and inorganic iodides: human health aspects. Concise International Chemical Assessment Document 72. World Health Organization, Geneva. 61 p.
- Salminen, R. (Ed.). 2005. Geochemical Atlas of Europe. Association of the Geological Surveys of The European Union (EuroGeoSurveys)/ the Geological Survey of Finland.
- Shimamoto, Y.S., T. Itai, Y. Takahashi. 2009. Soil column experiments for iodate and iodide using K-edge XANES and HPLC–ICP-MS. J. Geochem. Exploration. (Disponibile en línea. 10.1016/j.gexplo.2009.11.001.
- Shinonaga T, Gerzabek MH, Strebl F, Muramatsu Y. 2001. Transfer of iodine from soil to cereal grains in agricultural areas of Austria. Sci Total Environ. 267:33-40.
- Squeo F. y Leon F. M., 2007. Transpiración capítulo III Fisiología Vegetal Universidad de La Serena, La Serena, Chile (2007) 3: 67-84.
- Tian, R. C., J. C. Marty, E. Nicolas, J. Chiavérini, D. Ruiz-Pino, and M. D. Pizay. 1996. Iodine speciation: a potential indicator to evaluate new production versus regenerated production. Deep-Sea Res., Part I 43:723-738.
- Voogt, W., Holwerda, H. T., & Khodabaks, R. (2010). Biofortification of lettuce (*Lactuca sativa* L.) with iodine: the effect of iodine form and concentration in the nutrient solution on growth, development and iodine uptake of lettuce grown in water culture. Journal of the Science of Food and Agriculture, 90(5), 906-913.
- Venturi, S. and M. Venturi. 2007. Evolution of dietary antioxidants: role of iodine. Tutto Sulla Nutrizione.
- Villalpando, S., A. García-Guerra, C.I. Ramírez-Silva, F. Mejía-Rodríguez, G. Matute, T. Shamah-Levy, J.A. Rivera. 2003. Iron, zinc, and iodide status in Mexican children under 12 years and women 12-49 years of age. A probabilistic national survey. Salud Pública de México 45:S520-S529.
- Weng, H.X., J.K. Weng, W.B. Yong, X.W. Sun, H. Zhong. 2003. Capacity and degree of iodine absorbed and enriched by vegetable from soil. J Environ. Sci. 15:107-111.
- Whitehead, D.C. 1975. Uptake and distribution of iodine in grass and clover plants grown in solution culture. J. Sci. Food Agric. 24:43-50.

- Wong, G.T.F. 1991. The marine geochemistry of iodine. *Rev. Aquatic Sci.* 4: 45–73.
- Yamaguchi, N., M. Nakano, H. Tanida, H. Fujiwara, N. Kihou. 2006. Redox reaction of iodine in paddy soil investigated by field observation and the I K-Edge XANES fingerprinting method. *J. Environ. Radioactivity* 86:212-226.
- Yokoyama, Y. and M. Kobayashi. 2003. Nano-scaled dynamics of iodine-tetrahedron in α -Agl. *Solid State Ionics*.159:279-287.
- Yu, W. J., Yao, Y., Wei, H. M., Long, M. H., & Tang, X. F. (2011). Absorption of exogenous iodine in rhizosphere and its effects on physiological parameters of cherry tomato plants. *Guihaia*, 4, 20.
- Zhu Y.G., Y.Z. Huang, Y. Hu, Y.X. Liu. 2003. Iodine uptake by spinach (*Spinacia oleracea* L.) plants grown in solution culture: effects of iodine species and solution concentrations. *Environ. Int.* 29:33-37.

Citas en internet

http://www.ecured.cu/index.php/Transpiraci%C3%B3n_en_las_plantas

[http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev11\(1\)/3.%20Estimaci%C3%B3n%20del%20%C3%A1rea%20foliar.pdf](http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev11(1)/3.%20Estimaci%C3%B3n%20del%20%C3%A1rea%20foliar.pdf)

<http://www.botanical-online.com/respiracion-plantas.htm>

<http://www.ecologiahoy.com/fotosintesis>

http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000051/lecciones/cap01/06_08.htm

<http://www.scielo.org.ve/pdf/at/v56n1/art02.pdf>

Apéndice

Las medias de la forma de aplicación del yoduro de potasio de las variables fisiológicas

Aplicación	Fotosíntesis	std	Trans	std	UEA	std
Foliar	5.44	1.43	4.53	2.23	3.44	1.49
Suelo	4.91	1.10	3.39	1.60	3.97	1.35

Las medias de la concentración de yoduro de potasio de las variables fisiológicas.

Concentración	Fotosíntesis	std	Trans	std	UEA	std
1x10 ⁻³ molar	5.32	1.50	3.86	2.37	3.88	1.19
2x10 ⁻³ molar	4.87	1.42	3.74	1.73	3.51	1.26
Agua	5.34	0.98	4.28	2.04	3.73	1.87

Las medias de la interacción Aplicación*Concentración en melón.

Aplicación	Concentración	Fotosíntesis	std	Transpiración	std	UEA	std
Foliar	1x10 ⁻³ molar	5.79	1.83	4.69	3.08	3.51	1.03
Foliar	2x10 ⁻³ molar	5.07	1.86	4.76	1.95	2.68	0.46
Foliar	Agua	5.46	0.62	4.13	2.16	4.13	2.33
Suelo	1x10 ⁻³ molar	4.85	1.13	3.03	1.33	4.25	1.36
Suelo	2x10 ⁻³ molar	4.66	1.07	2.72	0.66	4.33	1.30
Suelo	Agua	5.22	1.35	4.43	2.24	3.33	1.51