

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Biofortificación con Yoduro de Potasio en el Cultivo de Melón (*Cucumis melo* L.)

y su implicación en la Morfología y Fisiología de la Planta

Por:

ASAIID ADÁN DÍAZ GÓMEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Biofortificación con Yoduro de Potasio en el Cultivo de Melón (*Cucumis melo* L.) y su implicación en la Morfología y Fisiología de la Planta

Por:

ASAIID ADÁN DÍAZ GÓMEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

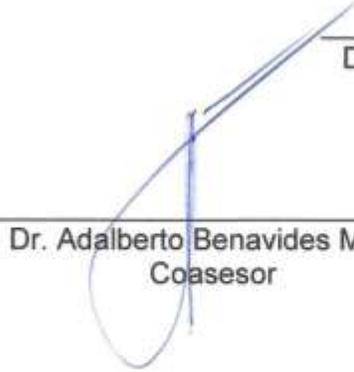
Aprobada por el Comité de Asesoría



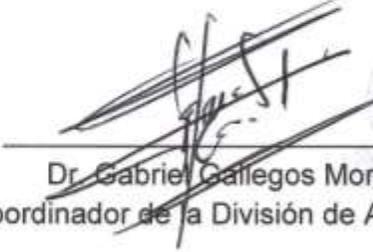
Dr. Fernando Borrego Escalante
Asesor Principal



Dr. Valentín Robledo Torres
Coasesor



Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México



Coordinación
de Agronomía

Mayo de 2017

AGRADECIMIENTO

A mi papá y mamá, por darme la vida, por cuidar de mí y de mis hermanos, por ser el pilar de la familia.

A mi "Alma Terre Mater" Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por ser mi segundo hogar, por darme el espacio, los recursos y facilidades para convertirme en un profesionalista.

A mis asesores por darme la oportunidad de colaborar y formar parte de mi trabajo, compartir sus conocimientos, consejos, experiencia y a resolver mis dudas con gran respeto y admiración ha:

Al **Dr. Fernando Borrego Escalante** por su gran apoyo en la asesoría, sugerencias, seguimiento y revisión de la elaboración de mi trabajo.

Al **Dr. Adalberto Benavides Mendoza**, gracias por la dedicación y disponibilidad para revisión y asesoría del presente trabajo.

Al **Dr. Valentín Robledo Torres**, por la disponibilidad y su tiempo en el acompañamiento de este trabajo.

Al **ING. María de Lourdes Hernández Hernández**, por su gran carisma, apoyo y tiempo en la realización de este proyecto.

Al **Dr. Francisco Gordillo Melgoza**, por ser un gran amigo, asesor y por su gran paciencia y apoyo en la elaboración de esta tesis.

A mis compañeros y amigos de la generación CXX **Gilberto Abdón Aguilar, Lizbeth Cano Martagón, Bonifacio Quintero Tovar, Ángel Reyes Macín, Celerino Vázquez Benítez, Elena Hernández González**, entre otros, gracias por compartir grandes momentos que nunca olvidare.

A mi esposa la **Ing. Yesenia Estrada Nieto**, por motivarme, apoyarme en las buenas y las malas. Gracias por el tiempo, la dedicación y por creer en mí.

Sinceramente agradecido con todos y cada uno de ustedes que me brindaron su apoyo, creyeron y confiaron en mí.

Gracias.

DEDICATORIA

Para esas dos grandes personas que quiero, admiro y que confían en mí, porque con sacrificios, esfuerzo y trabajo me han apoyado firmemente, siempre aconsejándome en todo momento y alentándome para ser una persona de bien.

Con cariño y afecto a ti mamá y papá:

Socorro Gómez

Alfonso Díaz Contreras

A mis hermanos

Rallinari Díaz Gómez, José R. Díaz Gómez y Xóchitl Rosita Díaz Gómez

Por compartir conmigo travesuras, experiencias y conocimientos y sobre todo por su apoyo incondicional en todo momento.

Para esa criatura mágica de pelo desgreñado la que es detonante de mi felicidad, de mi esfuerzo, de mis ganas de buscar lo mejor para ti.

Mi hija **Alison Quetzalli Díaz Estrada**

A mi esposa la **Ing. Yesenia Estrada Nieto**

Cada vez que ríes rompes mi rutina

Y la paciencia con la que me escuchas

Y la convicción con la que siempre luchas.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	3
1.2 objetivos	4
1.2.1 Objetivo General	4
1.2.2 Objetivo específico	4
1.3 Hipótesis	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Origen del melón	5
2.1.1 Clasificación taxonómica	5
2.2 Importancia de su cultivo	6
2.2.1 Producción en México	6
2.2.2 Valoración nutricional	7
2.2.3 Importancia económica	8
2.3 La biofortificación de cultivos	8
2.4 Yodo	8
2.4.1 Fuentes naturales de yodo	9

2.4.2 El yodo en el suelo	10
2.4.3 Yodo en las plantas	10
2.4.4 El yodo en la salud humana	11
2.4.4.1 Problemas relacionados con la deficiencia de yodo	11
2.4.4 Otros usos del yodo	12
2.5 Parámetros fisiológicos.....	13
2.5.1 Conductancia estomática	13
2.5.1 Potencial óxido – reducción.....	14
2.5.1 Antioxidantes.....	14
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1 Sitio experimental	16
3.2 Tratamiento.....	16
3.3 Material genético	16
3.4 Establecimiento del cultivo	17
3.4.1 Preparación de charolas.....	17
3.4.2 Trasplante	17
3.4.3 Riego	17
3.4.4 Fertilización	18
3.4.5 Poda y tutorado	18
3.4.6 Polinización	19
3.4.7 Control de plagas y enfermedades.....	19
3.5 Equipo utilizado.....	20
3.6 Variables evaluadas	20
3.6.1 Agronómicas	20
3.6.2 Morfológicas	20

3.6.3 Fisiológicas.....	21
3.7 Diseño experimental	21
3.7.1 Análisis multivariado.....	21
4. RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	22
4.1.1 Conductancia estomática	23
4.1.2 Número de flores hembra y macho	24
4.1.3 Número de hojas y área foliar	24
4.1.4 Variables relacionadas con el rendimiento	26
4.1.5 Sólidos solubles totales y potencial óxido reducción	27
4.1.6 Concentración de yodo en los frutos de melón	27
4.2 Análisis multivariado de componentes principales y correlaciones	31
5. CONCLUSIÓN	36
6. LITERATURA CITADA	37

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.0 Clasificación taxonómica del melón	5
Cuadro 3.1 Solución nutritiva por gramo para cada 100 L de agua.....	18
Cuadro 3.2 Insecticidas y fungicidas aplicados para el control de plagas y enfermedades durante el desarrollo fenológico del cultivo.....	19
Cuadro 4.1. Análisis de varianza de las variables morfológicas y fisiológicas en melón.	22
Cuadro 4.2 Análisis de varianza de las variables relacionadas con el rendimiento, sólidos solubles totales y contenido de yodo en los frutos de melón	23
Cuadro 4.3. Comparación de medias de las variables morfológicas y fisiológicas.....	29
Cuadro 4.4. Comparación de medias de las variables relacionadas con el rendimiento, sólidos solubles totales, óxido-reducción y concentración de yodo en los frutos de melón.	30
Cuadro 4.5. Matriz de correlación de las variables morfológicas y fisiológicas en seis tratamientos con aplicaciones de yoduro de potasio en melón.....	32
Cuadro 4.6. Componentes principales y aportación relativa de cada variable con aplicaciones de yoduro de potasio en melón.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Los estados más importantes en la producción de melón del 2015 en México.....	6
Figura 2. Conductancia estomática presentada con aplicaciones de yoduro de potasio en melón.	24
Figura 3. Área foliar presentada con las aplicaciones de yoduro de potasio en melón.	26
Figura 4. El rendimiento presentado con las aplicaciones de yoduro de potasio en melón.	27
Figura 5. Concentración de yodo en frutos de melón con las aplicaciones de yoduro de potasio.....	29
Figura 6. Biplot de los dos primeros componentes principales de las respuestas de las variables evaluadas en el melón a las aplicaciones de yoduro de potasio.	35

RESUMEN

En México el melón se cultiva en diferentes estados, principalmente en aquellos que tienen climas cálidos y poca humedad, siendo el estado de Coahuila el principal productor, ya que de las 20 mil hectáreas destinadas para la producción de melón en el país éste abarca poco más del 60 por ciento del total de la producción nacional, gracias a las mejoras de las especies cultivadas y a la innovación de las técnicas agrícolas, se ha logrado satisfacer en gran medida la necesidad de este producto.

En este sentido, la producción no es un gran problema, sin embargo la sociedad demanda, en estos momentos, una alta calidad de estos productos y que no solo sirvan para mitigar el hambre sino que también sean capaces de satisfacer las necesidades nutricionales humanas tras su consumo. En general los humanos requerimos más de 22 elementos minerales para el correcto desarrollo. A pesar de que algunos de estos nutrientes se requieren en pequeñas cantidades en la dieta, diversos estudios mostraron que hay carencias nutricionales de estos elementos. Se estima que entre el 60-80% de la población mundial es deficiente en Hierro, más del 30% en Zinc y Iodo y aproximadamente el 15% en Selenio.

El yodo se considera esencial debido a su importancia metabólica en la mayoría de los seres vivos. La deficiencia de yodo ocurre cuando la ingesta y asimilación de yodo es más baja que la cantidad requerida por la glándula tiroidea para sintetizar suficientes cantidades de las hormonas tiroxina y triyodotironina. Su deficiencia es relativamente frecuente en zonas alejadas de la costa (cuando la dieta contiene pocos derivados de la pesca) o en zona montañosas (cuando se consumen productos vegetales cultivados en suelos pobres en este elemento). La deficiencia de yodo produce bocio (llamado bocio endémico), y también cretinismo, lo que afecta al crecimiento normal y produce otros problemas de salud.

Para mitigar el déficit de yodo, se enriquece la sal de mesa o sal con pequeñas cantidades de yodo en forma de sal yodada. Esta sal contiene yoduro de sodio, yoduro de potasio o yodato de potasio. En otras zonas con deficiencia de yodo también se agregan estos compuestos a los alimentos, tales como harina, agua y leche. .

En el presente trabajo de investigación, se realizaron aplicaciones de Yoduro de potasio, (KI) a concentraciones de 0.5, y 1×10^{-3} molar, una vez por semana en drench (a la raíz) y una vez cada dos semanas vía foliar, como testigo absoluto la aplicación de agua. La primera aplicación se realizó a los 15 días de su trasplante, con un total de 10 aplicaciones al suelo y 5 vía foliar, en un periodo de 91 días, en plántulas de melón del híbrido Cruiser F1, desarrollado por la compañía Harris Moran Seed Company. Las variables sometidas a análisis son: Variable fisiológica: conductancia estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), Variables morfológicas Numero de Flores Hembra, Numero de Flores Macho, Numero Hojas y Área Foliar (cm^2), variables agronómicas: Rendimiento (t/ha^{-1}), Peso Promedio de Fruto (g), Numero de Frutos, solidos solubles totales, contenido de yodo en los frutos, y potencial óxido reducción.

El diseño experimental que se utilizó fue completamente al azar con arreglo factorial 3×2 , con 24 unidades experimentales; para el análisis estadístico se llevó a cabo con el paquete estadístico STATISTICA® versión 10 y R Statistical (R versión 3.0.2, 2015). La mejor concentración de yodo en el fruto de melón se presenta en la dosis 0.5 foliar y sustrato.

1. INTRODUCCIÓN

Las frutas frescas se han convertido cada vez más en un importante complemento alimenticio; a diferencia de los alimentos básicos, como los cereales, su demanda aumenta constantemente no solo de manera paralela al crecimiento de la población, sino también de su ingreso real, lo que permite una dieta mejor balanceada. Por ello existe una mayor demanda en el consumo de frutas como el melón.

En México se cultivan una gran cantidad de variedades de melón como: Cantaloupe (conocido como chino, rugoso o reticulado), Muskmelon o Honey dew, Goldey honey dew, etc. La primera variedad ocupa el lugar predominante que es la que prefiere el consumidor por su excelente calidad; se estima que su producción representa el 70% de los volúmenes totales cosechados. El melón se cultiva en diferentes estados, principalmente en aquellos que tienen climas cálidos y poca humedad, siendo el estado de Coahuila el principal productor, ya que de las 20 mil hectáreas destinadas para la producción de melón en el país éste abarca poco más del 60 por ciento del total de la producción nacional, gracias a las mejoras de las especies cultivadas y a la innovación de las técnicas agrícolas, se ha logrado satisfacer en gran medida la necesidad de este producto.

En este sentido la producción no es un gran problema, sin embargo la sociedad demanda, en estos momentos, una alta calidad de estos productos y que no solo sirvan para suplir el hambre sino que también sean capaces de satisfacer las necesidades nutricionales humanas tras su consumo. En general los humanos requerimos más de 22 elementos minerales para el correcto desarrollo (White y Broadley, 2005). A pesar de que algunos de estos nutrientes se requieren en pequeñas cantidades en la dieta, diversos estudios mostraron que hay carencias nutricionales de estos elementos. Se estima que entre el 60-80% de la población mundial es deficiente en Hierro, más del 30% en Zinc y Yodo y aproximadamente el 15% en Selenio (Ríos et al. 2008).

Los primeros escritos sobre el yodo datan del año 3600 a.C. en china, donde se demostró que el bocio disminuía al ingerir algas y esponjas del mar quemadas (Lueng et al., 2012). El yodo fue descubierto en 1811 por Courtois mientras estaba aislando compuestos de Na y de K de las cenizas de algas marinas.

El yodo o iodo (I), es uno de los halógenos de mayor importancia, parece ser un elemento que en cantidades muy pequeñas, es esencial para la vida animal y vegetal. Es un oligoelemento que se emplea principalmente en medicina, fotografía y como colorante. Químicamente, el yodo es el halógeno menos radioactivo y menos electronegativo.

El yodo fue descubierto en la glándula tiroidea por Baumann en 1885 y años más tarde Marine y Kimball demostraron que el agrandamiento de la glándula tiroidea, bocio, era causada por déficit de este elemento y era prevenible mediante la suplementación con yodo (Marine & Kimball, 1917). Hoy en día, este elemento es considerado esencial para la mayoría de los organismos vivos ya que es fundamental para la formación de hormonas tiroideas, imprescindibles en el desarrollo somático y cognitivo del individuo (Pérez - López, 2007).

El déficit de yodo produce un amplio espectro de trastornos que incluye el bocio endémico, el hipotiroidismo, el cretinismo, la disminución de la tasa de fertilidad, abortos, aumento de la mortalidad infantil y retraso mental (Zimmermann & Delange, 2004). Se estima que en el mundo hay millones de personas que tienen riesgo de ingesta insuficiente de yodo. El 13% de la población mundial tiene bocio y alrededor de un 10% sufre cretinismo endémico. El déficit de yodo también afecta a los países desarrollados (Trumpff et al., 2013).

Dada la importancia de este problema y los muchos esfuerzos que se realizan por mitigar el déficit en el consumo de yodo, en esta investigación se plantea una alternativa a partir del uso de fertilizantes agrícolas que de forma natural contengan yodo, o bien la adición de sales de yodo a los fertilizantes minerales, en los últimos años se está investigando y poniendo en práctica la

forma de enriquecer los productos vegetales destinados al consumo humano, denominada biofortificación, que se define como el proceso de incrementar la concentración de elementos esenciales en la parte comestible de los productos cosechados mediante la intervención agronómica (White y Broadley, 2005). Un nuevo proceso de cultivar enfocado a las necesidades de la población, haciendo los productos novedosos y nutritivos.

1.1 Justificación

Actualmente el consumo de frutas y verduras se ha relacionado con una disminución en la incidencia de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo conocidas como crónico-degenerativas; entre ellas se encuentran la obesidad, la diabetes, algunos tipos de cáncer y aquellas relacionadas al envejecimiento. Dichos efectos benéficos a la salud han sido atribuidos a los compuestos conocidos como fitoquímicos, encontrados en un gran número de alimentos, lo cual ha dado lugar a nuevas tendencias en la agronomía.

En la actualidad es muy escasa la información científica que avale que el melón contiene yodo de forma natural, dado a que no se considera al yodo como un elemento esencial para las plantas terrestres, motivo por el cual no se contempla la fertilización mineral en los cultivos.

El no incluir fertilizantes con yodo para los cultivos, ocasiona que el contenido de este elemento en los alimentos vegetales y animales dependa exclusivamente de la disponibilidad natural del elemento en el suelo y en el agua. Por tal razón, hasta la fecha, la principal fuente de yodo para la mayoría de la población mundial es el aporte de sales inorgánicas (yoduro y yodato de potasio: KI y KIO₃) en la sal de mesa. Sin embargo, a través de los años se ha demostrado que esta técnica por sí sola es insuficiente para asegurar el requerimiento total de yodo, razón por la cual es suficiente para justificar este trabajo de investigación.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Determinar la respuesta en la morfología y fisiología del melón, inducidos a través de la aplicación de yoduro de potasio, tanto al sustrato como vía foliar.

1.2.2 Objetivo específicos

- Verificar los efectos en el crecimiento, morfología y fisiología, inducidos por la concentración de yodo.
- Determinar la concentración de yodo en el fruto.

1.3 HIPÓTESIS

Que por lo menos una de las concentraciones de yoduro de potasio, induzca cambios en la expresión génica y fisiología del cultivo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen del melón

De acuerdo a Marco (1969) el melón es de origen desconocido. Se especula que podría ser de la India, Sudan o de los desiertos Iraníes. Por otro lado, Lemus y Hernández (2003) señalan que África es considerado el centro de origen del melón, por la gran diversidad de especies silvestres de *Cucumis* con número cromosómico $n= 12$, siendo diploides todas las especies cultivables, además de la presencia de plantas silvestres de *Cucumis melo* en el este de África tropical y en el sur del desierto del Sahara, sin embargo otros autores mencionan su origen en el este de Asia, por los descubrimientos arqueológicos del Valle Harapan en la India con vestigios de semillas que datan de unos 2500 ó 2000 años antes de nuestra era, aunque la mayoría de los autores se inclinan hacia un origen africano.

2.1.1 Clasificación taxonómica

Según Fuller y Ritchie (1967) y Boyhan et al., (1999) , el melón (*C. melo* L.), está comprendido dentro de la familia de las cucurbitáceas con la siguiente clasificación taxonómica.

Cuadro. 2.0 Clasificación taxonómica del melón

Reino	Vegetal
Phyllum	Tracheophyta
Clase	Angiosperma
Orden	Campanulales
Familia	Cucurbitácea
Género	<i>Cucumis</i>
Especie	<i>C. melo</i>

2.2 Importancia de su cultivo

2.2.1 Producción en México

El melón es un cultivo de clima seco y cálido, requiere temperaturas medias de 25 a 28° C para su producción, ya que el melón es capaz de soportar altas temperaturas, se ha convertido en una excelente alternativa de cultivo para las zonas de calor excesivo y sequías constante en nuestro país. (Sistema Producción Nacional Melón, 2012).

En los estados con estas características, la agricultura del melón ha logrado desarrollarse ampliamente, encontrándose las mayores áreas de producción en el estado de Coahuila, con la mayor producción a nivel nacional, la siguiente es Guerrero, Michoacán, Sonora, Durango y Oaxaca.

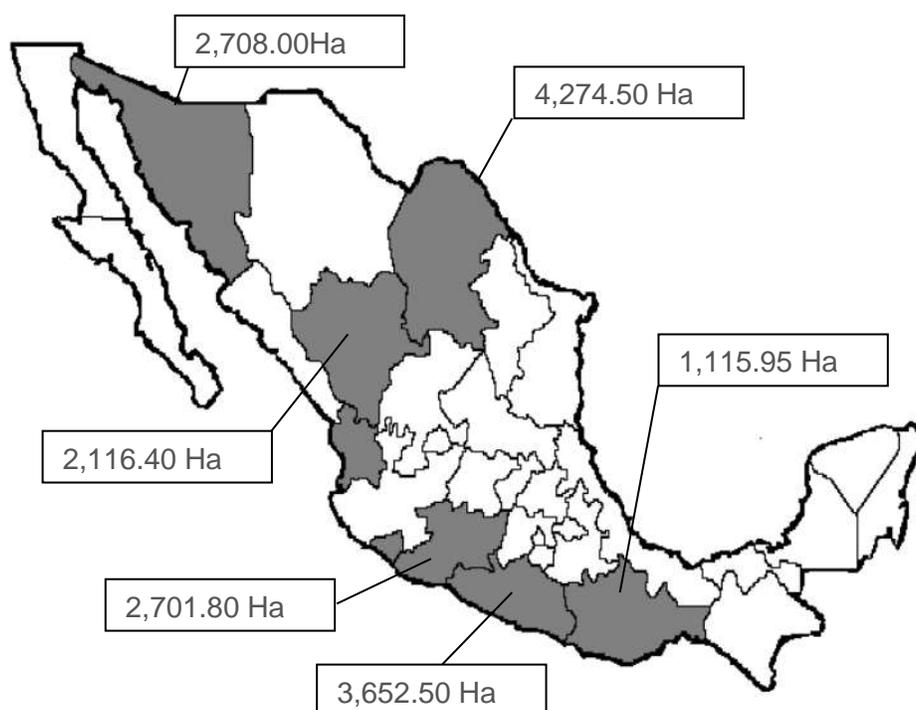


Figura 1. Los estados más importantes en la producción de melón del 2015 en México y la superficie sembrada, datos publicados por el (SIAP-SAGARPA).

La principal región melonera del país en términos de superficie por hectárea y producción en toneladas se ubica la Comarca Lagunera, que comprende parte del estado de Coahuila y Durango, con una superficie aproximada de 4, 680 ha⁻¹ con un rendimiento promedio de 31.074 t ha⁻¹. El estado de Colima presenta los más altos rendimientos con 46.966 t ha⁻¹, después se encuentran los estados de Sonora 34.066 t ha⁻¹, Chihuahua 33.927 t ha⁻¹, Michoacán 33.2 t ha⁻¹, Coahuila 32.737 t ha⁻¹ y San Luis Potosí 31.167 t ha⁻¹. (SIAP, 2015)

2.2.2 Valoración nutricional

El melón contiene una alta cantidad de agua (92%) y una cantidad de azúcar (6%) inferior a la de otras frutas; hecho que, unido a que apenas contiene grasa, hace del melón una de las frutas con menor contenido calórico. Además de ser delicioso, fresco y de dulce sabor, su contenido en hidratos de carbono de fácil asimilación le confieren propiedades estimulantes del apetito.

Información nutricional del melón Cantaloupe			
Cantidad por 100 gramos			
Calorías			34 Kcl
Grasas totales			0.2 g
Ácidos grasos saturados			0.1 g
Ácidos grasos poliinsaturados			0.1 g
Ácidos grasos mono insaturados			0 g
Colesterol			0 mg
Sodio			16 mg
Potasio			267mg
Hidratos de carbono			8 g
Fibra alimentaria			0.9g
Azúcares			8 g
Proteínas			0.8 g
Vitamina A	3,382 IU	Vitamina C	36.7 mg
Calcio	9 mg	Hierro	0.2 mg
Vitamina D	0 IU	Vitamina B 6	0.1 mg
Vitamina B12	0 µg	Magnesio	12 mg

2.2.3 Importancia económica

El melón, desde los años veinte, ha sido un producto generador de divisas para el país, fuentes de empleo e ingreso de utilidades para los productores mexicanos. Sin embargo, es a partir de los años sesenta cuando su presencia toma importancia entre los productores, derivado de una mayor demanda, tanto del mercado nacional como del internacional.

No obstante, la creciente participación de los países centroamericanos ha empezado a ganar espacios en el mercado estadounidense, importador del 99% de las exportaciones mexicanas, complicando la mayor comercialización de melón y evitando la participación de más productores mexicanos.

http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/nacionales/EXP_CNSP_MELON/PLAN%20RECTOR%20QUE%20CONTIENE%20PROGRAMA%20DE%20TRABAJO%202012/PR_CNSP_%20MELON_%202012.pdf

2.3 La biofortificación de cultivos

La biofortificación es un proceso mediante el cual se incrementa la concentración de elementos esenciales en la parte comestible en los productos cosechados mediante la intervención agronómica, mejoramiento genético (Fitomejoramiento) o ingeniería genética (White y Broadley, 2005; Hotz, 2013). Pachón (2010) lo define como el proceso mediante el cual los cultivos mejoran sus características agronómicas y su nivel nutricional. Por otra parte, Yin et al. (2012), indican que es una estrategia biológica, cuyo objetivo es el incremento de los micronutrientes contenidos en las partes comestibles de las plantas, animales o microorganismos, a través del cultivo o el uso de la biotecnología, además se considera que es una manera segura y eficaz para aliviar la malnutrición en áreas deficientes.

2.4 Yodo

El yodo o iodo (I) es el elemento químico de número atómico 53, situado en el grupo de los alógenos (grupo 17) de la tabla periódica. Su peso atómico del isótopo más abundante es de 126.9 g mol^{-1} . Como los restantes halógenos del grupo VII de la tabla periódica, el yodo forma moléculas diatómicas.

El yodo se presenta en la corteza terrestre con una concentración de 0,14 ppm, mientras que en el agua de mar su abundancia es de 0.052-0.057 mg L⁻¹ (aprox. 4.5×10^{-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 fitoplancton 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).

2.4.1 Fuentes naturales de yodo

El yodo (como yoduro) está distribuido ampliamente en el planeta pero de manera irregular. En muchas regiones, debido a las glaciaciones, inundaciones y erosiones, el yodo ha sido eliminado del terreno y este mineral, se encuentra en su mayoría en los mares y océanos. Con la excepción de la sal marina, sólo los alimentos de origen marino tienen una elevada cantidad de yodo de manera natural. La concentración de yodo en el agua marina es de aproximadamente 50 µg/L. to caen sobre el terreno que crecen las plantas. (Goldschmidt. 1954).

2.4.2 El Yodo en el suelo

La concentración de yodo disponible en el suelo se encuentra en función del material madre del suelo (Aston y Brazier, 1979) y la distancia al mar. Tanto en los lechos oceánicos como en el suelo el yodo es volatilizado por microorganismos (Amachi et al., 2001) y plantas (Bostock et al., 2003), permitiendo su movilidad entre diferentes regiones según Laturus, (2001), la volatilización del yodo por microalgas marinas. El viento también es un factor involucrado al movilizar aerosoles marinos hacia las zonas terrestres, pero su efecto es limitado por la topografía. Las zonas montañosas, los valles y las planicies del interior de los continentes muestran bajas concentraciones de yodo (Aston y Brazier, 1979).

En cuando 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}) (Seki et al., 1984). Este efecto parece depender de la habilidad de las sustancias húmicas y para adsorber el yodo (proceso al parecer mediado por microorganismos) y disminuir su volatilización (Bostock et al., 2003). Se sabe que también puede existir una relación negativa entre el contenido de arcilla del suelo y la absorción del 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).

2.4.3 Yodo en las plantas.

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 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).

2.4.4 El Yodo en la salud humana.

El yodo es esencial para el ser humano en pequeñas cantidades, asegurando 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 y la función neuronal. Además está implicado en el crecimiento, desarrollo y regulación metabólica, lo que hace que su deficiencia esté relacionada con trastornos tan diversos como retraso del crecimiento y maduración de todos los órganos y sistemas, fallos reproductivos y del sistema inmune, retraso mental deterioro del oído y cretinismo, así como daños cerebrales (Welch y Graham 1999; Welch, 2002).

El yodo se ingiere en diferentes formas químicas, absorbiéndose de manera casi completa y rápida en el estómago y en el duodeno, pero esta absorción puede verse disminuida por la presencia de alimentos denominados bociógenos o por el déficit de otros micronutrientes (Ristic-Medic, et al., 2009). El yodo molecular es absorbido a través de los pulmones y del tracto gastrointestinal. Los compuestos inorgánicos de yodo son también absorbidos cuando se inhalan. Los compuestos de yodo en forma de sales solubles en agua son 100% absorbidos por el tracto intestinal. Yodo y yodato son reducidos a yoduro y absorbidos por el intestino delgado (Reed et al., 2003).

2.4.4.1 Problemas relacionados con la deficiencia de Yodo.

Los trastornos ocasionados por la deficiencia de yodo representan un importante problema en la salud pública. La deficiencia de yodo es la causa de retraso intelectual más prevalente en el mundo en la actualidad. Cuando una población no llega a alcanzar los requerimientos fisiológicos de yodo, se producen una serie de alteraciones funcionales y del desarrollo y hacen su aparición en

bocio, cretinismo endémico, pero también alteraciones menos conocidas, como el descenso de la fertilidad y el aumento de la mortalidad perinatal e infantil. Prácticamente todo los tejidos del organismo necesitan hormona tiroidea para un correcto funcionamiento pero de un modo especial el organismo en formación y sobre todo el cerebro. La carencia de yodo da lugar a una serie de trastornos que dependen de su intensidad y de la edad en la que incide. Aunque los trastornos que derivan de la deficiencia de yodo son fáciles de prevenir mediante una adecuada ingesta de yodo.

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, según el reporte de Villalpando et al. (2003), la deficiencia de yodo no parece ser un problema común entre la población.

2.4.5 Otros usos del Yodo

Tiene usos muy importantes en medicina. Soluciones de yodo y alcohol y complejos de yodo se utilizan como antisépticos y desinfectantes. Isótopos radiactivos del yodo se usan en medicina nuclear como trazadores y en otros campos de investigación. También tiene otros usos no médicos como preparación de emulsiones fotográficas, elaboración de colorantes y lámparas halógenas. El yoduro de plata dispersado en las nubes se utiliza para producir lluvia con fines agrícolas.

2.5 Parámetros fisiológicos

2.5.1 Conductancia estomática

Los cambios en la turgencia de las células guarda que conducen la apertura y cierre del estoma son dependiente de un numero de factores medio ambientales que incluyen a la luz solar, concentración de CO₂ humedad y temperatura, así como factores endógenos, como concentración de K⁺, ácido abscísico y actividad metabólica.

El aspecto más característico de un estoma es su capacidad para abrirse y cerrarse regulando con esto la conductancia a los gases y con ellos su intercambio, generalmente los estomas se abren con la luz al amanecer y se cierran con la oscuridad. Una planta en un día normal alcanza su máxima apertura estomática durante las horas de la mañana y hacia medio día; sin embargo, hay plantas que producen una reducción de su conductividad a medio día, cuando se presentan los mayores valores de diferencia de presión de vapor (DPV). Plantas en suelos con un bajo potencial hídrico suelen abrir sus estomas solo durante las primeras horas del día (Squeo y León, 2007)

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).

Dado que los estomas afectan el flujo de CO₂ en las hojas, como también la perdida 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 (Ludlow y Muchow, 1990)

2.6 Potencial Oxidó - reducción

En la vida todas las reacciones bioquímicas en los organismos vivos son de transferencia de energía. Frecuentemente ocurren en las reacciones de óxido reducción (redox). La reducción se puede definir como la ganancia de un electrón o de un protón, mientras que la oxidación es la pérdida de un electrón o de un átomo de hidrogeno. En una reacción redox, una sustancia es oxidada, y sus electrones se transfieren a otra sustancia que se reduce. En el metabolismo de todos los seres vivos, los procesos redox tienen una importancia capital, ya que están involucrados en la cadena de reacciones químicas de la fotosíntesis y de la respiración. En ambas reacciones existe una cadena transportadora de electrones formada por una serie de complejos enzimáticos, entre los que destacan los citocromos, donde el resultado final es la obtención de energía en forma de ATP que luego es aprovechado por todo el organismo para ser utilizado en otros procesos (Camero, 2014).

2.6.1 Antioxidantes

El oxígeno es un elemento básico en la respiración celular, sin embargo, un pequeño porcentaje del oxígeno se convierte en unas especies semireducidas del oxígeno altamente oxidantes que se denominan especies reactivas del oxígeno y que constituyen el punto de partida de un daño celular, denominado estrés oxidativo.

El daño oxidativo puede ser prevenido por moléculas antioxidantes, ya que son un conjunto de moléculas reconocidas por su capacidad para neutralizar los radicales libres; estas sustancias han surgido como una alternativa para combatir

las deficiencias asociadas al estrés oxidativo, tales como las enfermedades cardiovasculares, reumáticas y el envejecimiento (López y Echeverri, 2007). Un antioxidante puede ser definido como una sustancia que hallándose presente en los alimentos a bajas concentraciones, con respecto a las de un sustrato oxidable, retarda o inhibe significativamente la oxidación de dicho sustrato (Halliwell y Gutteridge, 1998).

Los antioxidantes ayudan a prevenir la degradación de biomoléculas como proteínas, lípidos de membrana, carbohidratos y ácidos nucleicos, así como el ataque de los radicales libres sobre dichas moléculas biológicas. Un radical libre es aquella sustancia química, ya sea átomo, molécula o parte de ésta, desprendidos de su órbita más externo (Fridovich, 1978).

Los antioxidantes exógenos se encuentran en frutas, entre estos están las vitaminas A, E y C, los β carotenos, luteína, flavonoides, licopeno, el ácido tióico o lipoico y los minerales (cobre, zinc, manganeso, hierro, selenio y yodo), que son necesarios para la actividad del sistema enzimático endógeno y la coenzima Q. (Halliwell, 1996; Mohseni, et al., 2009).

Los antioxidantes obtenidos a través de la dieta, pueden actuar de dos formas: primero, previniendo la generación excesiva de radicales libres, evitando así que se produzca el daño celular por efecto del estrés oxidativo. Y segundo, después de que se ha producido el daño, los antioxidantes pueden controlar los niveles de radicales libres evitando que el daño continúe avanzando y con ello algunos síntomas de la enfermedad producidas por el efecto del estrés oxidativo pueden disminuir (Nuttall, et al., 1999; Uttara, et al., 2009).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Sitio experimental

La parte experimental del trabajo se realizó en el año 2015; en la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN) en el invernadero número 6, ubicado al sur de la ciudad de Saltillo, Coahuila. En las coordenadas geográficas de 25° 21´ 19.29” latitud N, y 101° 01´ 49.07” longitud W, a una altitud de 1777 msnm.

3.2 Tratamiento

Se realizaron aplicaciones de Yoduro de potasio (KI), a concentraciones de 0.5, y 1×10^{-3} molar, una vez por semana en drench (a la raíz) y una vez cada dos semanas vía foliar; como testigo absoluto, la aplicación de agua. La primera aplicación se realizó a los 15 días de su trasplante, con un total de 10 aplicaciones al suelo y 5 vía foliar, en un periodo de 91 días.

3.3 Material genético

En esta investigación se utilizó el híbrido Cruiser F1 de melón, desarrollado por la compañía Harris Moran Seed C. Híbrido de amplia adaptabilidad y altos rendimientos, frutos grandes y muy uniforme, de alta calidad de empaque. Mantiene tamaños en bajas temperaturas. Su pulpa es firme y crujiente de excelente color. De madurez relativa precoz. Se empleó un sistema de alta densidad de población de 37, 537 plantas por hectárea. <http://solagrosemillas.com.mx/semilla-de-melon-cruiser-harris-moran.html>

3.4. Establecimiento del cultivo

3.4.1. Preparación de charolas

Se realizó el lavado y desinfectado de las charolas, con hipoclorito de sodio en una dosis de 5 m/L por litro de agua, sumergiendo las charolas germinadoras en la solución por un periodo de 5 minutos.

La siembra del híbrido de melón se realizó el 09 de marzo del 2015, en dos charolas de 200 cavidades, utilizando como sustrato peat- moss.

3.4.2 Trasplante

Se seleccionaron plántulas uniformes, con un buen sistema radicular, el trasplante se realizó el 17 de abril del 2015. Previo al trasplante se acondicionó la mezcla de sustrato peat moss + perlita a una proporción 80:20, colocándolo en contenedores de polietileno color blanco en el exterior y negro en el interior, con una capacidad de 10 L.

3.4.3 Riego

La gestión de riegos en el melón sembrado en sustrato requiere un cálculo preciso de las necesidades hídricas, ya que la disponibilidad de agua por parte de las raíces se encuentra limitada a la capacidad de retención hídrica del sustrato y al volumen del contenedor, para satisfacer esta demanda se empleó la programación del Timer Hunter SRC, aplicando a inicio de cultivo 11 riegos por día, en intervalos de una hora, con una duración del riego de 1 minuto, al crecimiento de la planta se modificó la duración del riego a 4 minutos, el riego de un día tenía una duración de humedad de 2 días aproximadamente, utilizando el sistema de riego por goteo en espagueti, las modificaciones del riego se realizó de acuerdo a las condiciones fisiológicas del cultivo y las condiciones climatológicas del invernadero.

3.4.4 Fertilización

Se empleó una solución con macros y micronutrientes equilibrando los cationes y aniones. La aplicación de la solución se realizó en 11 riegos por día con una duración de 2 minutos.

Cuadro 3.1 Solución nutritiva en gramos para cada 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

3.4.5 Poda y tutorado.

La poda apical se efectúa con la finalidad de estimular el crecimiento de las 3 guías laterales de segundo orden y obtener tres frutos por planta. Esta actividad se llevó a cabo cuando la planta presentó de 4 a 6 hojas. Preferentemente la poda debe hacerse con los dedos.

El tutorado de la planta, permite que ésta sea guiada de forma vertical; así las guías disponen de espacio, luz y aire suficiente para el crecimiento y desarrollo de la planta; evita que los frutos se dañen por el contacto con el suelo, además de favorecer las labores de control fitosanitario (Casanova, et al. 1999). El tutorado de las guías fue conducida con hilos de rafia, para facilitar la aplicación del tratamiento al que se sometieron.

3.4.6 Polinización

El polen de las cucurbitáceas es altamente pegajoso y pesado, no es transportado por el viento, por lo que se realizó de forma manual en las primeras horas de la mañana a una temperatura de 18 °C a 21 °C durante 1 mes, después de los 45 días del trasplante, en ausencia de insectos polinizadores, por ser espacio cerrado. <http://www.hortalizas.com/cultivos/cucurbitaceas/importancia-de-polinizadores-en-cucurbitaceas/>

3.4.7 Control de plagas y enfermedades

Con la finalidad de controlar las poblaciones de mosquita blanca y trips se colocaron trampas pegajosas de color amarillo y azul en lugar estratégicos dentro del invernadero.

Cuadro 3.2 Insecticidas y fungicidas aplicados para el control de plagas y enfermedades durante el desarrollo fenológico del cultivo.

Parásito	Producto	Dosis	Aplicación
Araña roja	Abaneem	1.2 l/ha	1 aplicación vía foliar
Mosca blanca	Picador 70 PH	0.500kg/ha	1 aplicación vía foliar
Fusarium	Propomocarb	2 L/ha	1 aplicación vía riego
	Axione	0.7 kg/ha	
	Ridomil Bravo	2.5 L/ha	

3.5 Equipo utilizado

Porómetro: Equipo que se empleó para medir la conductancia estomática usando la técnica del Estado Estacionario. Esta técnica mide la presión de vapor y el flujo de vapor sobre la superficie de la hoja.

LI-COR 3100C: Este aparato se utilizó para medir el área foliar ya que es práctico y no destruye el área foliar.

Refractómetro: Aparato con escala Brix sirve para medir la concentración de solido soluble contenido en el fruto.

Potenciómetro pH/ORP modelo PHH-82A de Omega Engineering, Inc. Aparato que se utilizó para medir el potencial óxido reducción.

3.6 Variables evaluadas

Se realizaron en 2 muestreos para la variable conductancia estomática el primero a los 46 y el segundo a los 81 días después de trasplante en la morfología de la planta.

3.6.1 Agronómicas

REND.= Rendimiento por m^2 ($t\ ha^{-1}$)

PPF.= Peso promedio de frutos (g)

3.6.2 Morfológicas

NF = Número de fruto

NH = Número de hojas

NFH = Número de flores hembra

NFM = Número de flores macho.

AF = Área foliar (cm²):

3.6.3 Fisiológicas

Conductancia estomática (mol m⁻² s⁻¹)

SST = Solido solubles totales o grados brix (° Bx g)

ORP = Potencial oxido reducción

3.7 Diseño experimental

El diseño experimental que se empleó fue completamente al azar con un arreglo factorial 3x2 con 22 repeticiones, con 26 unidades experimentales; el análisis estadístico se llevó acabo con el paquete estadístico STATISTICA® versión 10 y R Statistical (R versión 3.0.2, 2016)

3.7.1 Análisis multivariado

Se realizó un análisis de componentes principales para examinar las relaciones de las variables cuantitativas, se examinaron los datos con la posibilidad de reducir el número de variables. Se determinaron los componentes principales y se graficaron los primeros componentes que más aportan a la variabilidad total en cada población.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza describe los cuadrados medios en el Cuadro 4.1, se muestra el factor aplicación donde es estadísticamente significativo ($p \leq 0.05$) en la variable fisiológica de conductancia estomática a los 49 días después de trasplante (ddt), sin embargo, en las variables morfológicas NFH, NFM, NH y AF, no presentaron diferencias estadísticas es decir la forma de aplicación no presentaron cambios considerables en las variables evaluadas. En la fuente de variación Dosis el NH y AF presentan diferencias estadísticas ($p \leq 0.01, 0.05$) y para la conductancia estomática 49 ddt con una diferencia significativa ($p \leq 0.01$) y en las demás variables NFH, NFM y conductancia estomática 81 ddt estadísticamente no hay diferencias. En cuanto a la interacción Dosis*Aplicación solo en la conductancia estomática 49 ddt hay diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) y el resto de las variables no se encontraron diferencias estadísticas (NFH, NFM, NH, AF y conductancia estomática 81 ddt).

Cuadro 4.1. Análisis de varianza de las variables morfológicas y fisiológicas en melón.

FV	GL	NFH	NFM	NH	AF (cm ²)	Conductancia estomática	
						49 ddt	81 ddt (mmol m ⁻² s ⁻¹)
Aplicación	1	0.03	0.98	0.09	38.08	7.73 *	0.01
Dosis	2	1.18	8.69	6.58 **	844.11 *	8.92 **	3.36
Dosis*Aplicación	2	1.39	4.72	0.21	200.97	9.70 **	7.99
Error	18	0.75	10.04	1.16	201.96	1.60	2.72
CV (%)		11.10	16.43	9.65	11.40	8.92	11.40

*,** =significativo a 0.05 y 0.01, respectivamente. CV= coeficiente de variación (%). FV= fuente de variación; GL =grados de libertad; NFH = número de flores hembra; NFM = número de flores macho; NH= número de hojas; AF= área foliar (cm²);

Cuadro. 4.2. Análisis de varianza de las variables relacionadas con el rendimiento, sólidos solubles totales y contenido de yodo en los frutos de melón.

FV	GL	NF	PPF (Kg)	REND (Kg/m ²)	SST (%)	ORP (mV)	Yodo (μ/100g)
Aplicación	1	0.09	0.04	0.01	0.03	69.97	0.05
Dosis	2	0.11	0.01	0.74 **	0.04	707.81	134.14 **
Dosis*Aplicación	2	0.01	0.00	0.05	0.03	96.63	0.52
Error	18	0.05	0.02	0.13	0.03	899.88	2.08
CV (%)		17.92	14.60	15.9733	6.19	-66.80	20.40

*,** =significativo a 0.05 y 0.01, respectivamente. CV= . FV= fuente de variación; GL =grados de libertad; NF= número de flores; PPF= peso promedio de fruto (kg); REND= rendimiento por metro cuadrado (Kg/m²); SST= sólido solubles totales (%); ORP= potencial oxido reducción (mV).

En el Cuadro 4.2 se presenta el análisis de varianza del rendimiento, sólidos solubles totales y contenido de yodo en frutos de melón, en la fuente de variación Aplicación y la interacción Dosis*Aplicación no presenta diferencias estadísticas significativas. En la fuente de variación Dosis el REND y Dosis de yodo en los frutos presenta diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) y el resto de las variables no presenta diferencias significativas (NF, PPF, SST y ORP).

4.1.1 Conductancia estomática

En el Cuadro 4.3 la conductancia estomática en la forma de aplicación se muestra la prueba de rango múltiple LSD, a los 49 ddt las aplicaciones de manera foliar los tratamientos influyo a una mayor conductancia estomática comparado con aplicaciones al sustrato donde presentaron los valores más bajos, el cual están representados en la Figura 2 donde se observa claramente la dosis 0.5 mM l⁻¹ aplicado foliarmente presenta los valores mayores. Sin embargo, a los 81 ddt de acuerdo a prueba de medias no presento diferencia alguna.

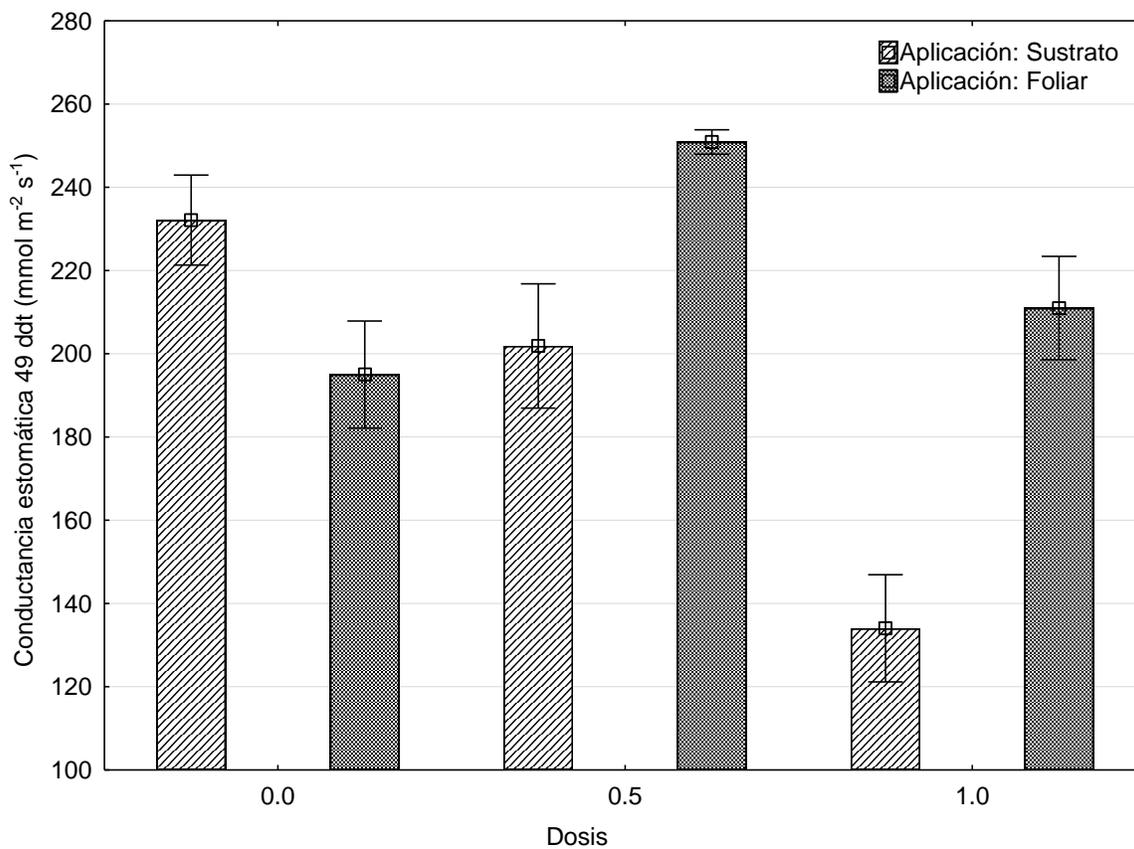


Figura 2. La conductancia estomática presentada con aplicaciones de yoduro de potasio en melón.

4.1.2 Número de flores hembra y macho

El resultado de la comparación de medias en el número de flores hembra y macho no fue afectado significativamente por cada uno de los factores aplicación, Dosis de yoduro de potasio (Cuadro 4.3).

4.1.3 Número de hojas y área foliar

En el número de hojas y área foliar de acuerdo a la prueba de rango múltiple LSD en la forma de aplicación al sustrato y foliar no afectó el crecimiento del melón (Cuadro 4.3). En cuanto a la dosis de yoduro de potasio influyó en el

número de hojas la concentración 0 y 0.5 mM I⁻ y en el área foliar 0 mM I⁻ tuvo el mejor crecimiento foliar (Cuadro 4.3). En la Figura 3, se presentan los valores promedio de la interacción donde se presentan diferencias numéricas considerables siendo los tratamientos con el testigo 0.0 mM I⁻ aplicado al sustrato y foliar y 0.5 mM I⁻ solamente aplicado al sustrato presentaron los mejores valores. Resultados parecidos han obtenido al aplicar los compuestos de yodo en la solución nutritiva o por aspersión foliar, en un estudio llevado a cabo en espinaca bajo cultivo hidropónico, se aplicaron diferentes formas químicas de yodo como ácido yodo acético, yoduro y yodato y se comprobó que con concentraciones mayores a 0 y hasta 1 mg L⁻¹ la tasa de absorción del yodo aumentó linealmente frente a la concentración, manteniendo una proporción de concentración de 1:1 en raíces y hojas. Se comprobó que inclusive con estas bajas concentraciones se obtuvo un incremento de la biomasa en estas plantas (Weng *et al.*, 2008). Por su parte Blasco y colaboradores (2008), demostraron que aplicando yodo en concentraciones ≤ 5.1 mg L⁻¹ de yoduro (I⁻) en lechuga hidropónica se obtuvo una adecuada acumulación de yodo foliar, la cual fue de 900 $\mu\text{g g}^{-1}$ de tejido seco, cantidad que es suficiente para cumplir la demanda diaria de consumo de yodo en humanos (150 $\mu\text{g/día}$) (Charlton *et al.*, 2013). La explicación a esto es que el yodo a una dosis de 0.5 mM I⁻ estimula la formación de biomasa.

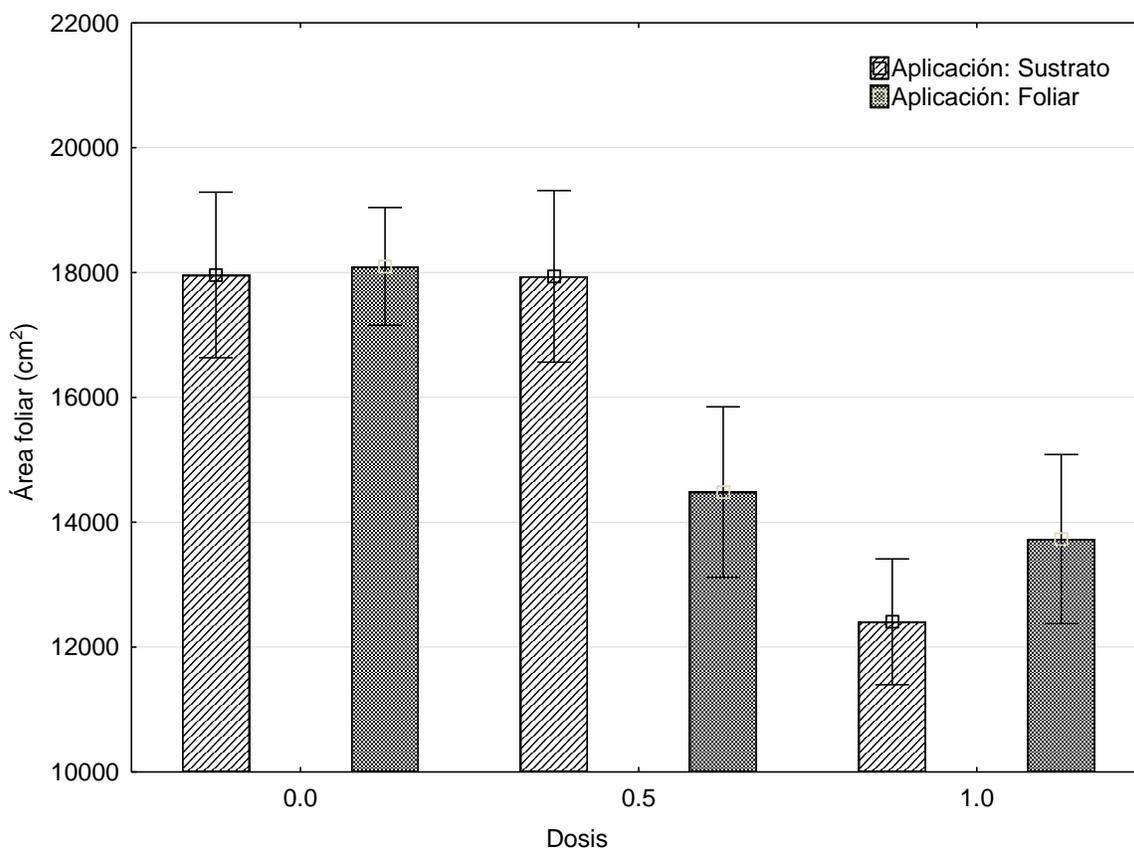


Figura 3. El área foliar presentada con las aplicaciones de yoduro de potasio en melón.

4.1.4 Variables relacionadas con el rendimiento

Las variables relacionadas con el rendimiento del melón, la forma de aplicación no causó un efecto perjudicial en el número de frutos, peso promedio de fruto y rendimiento (Cuadro 4.4). En cuanto a las dosis de aplicación del yoduro de potasio en los rendimientos en el testigo con 0.0 mM I⁻ presentaron los mayores valores en cuanto el peso promedio fruto y número de frutos no presentaron diferencias estadísticas en la prueba de medias. En la Figura 4, se muestra la aplicación foliar en el testigo 0.0 mM I⁻ presentó el mayor rendimiento.

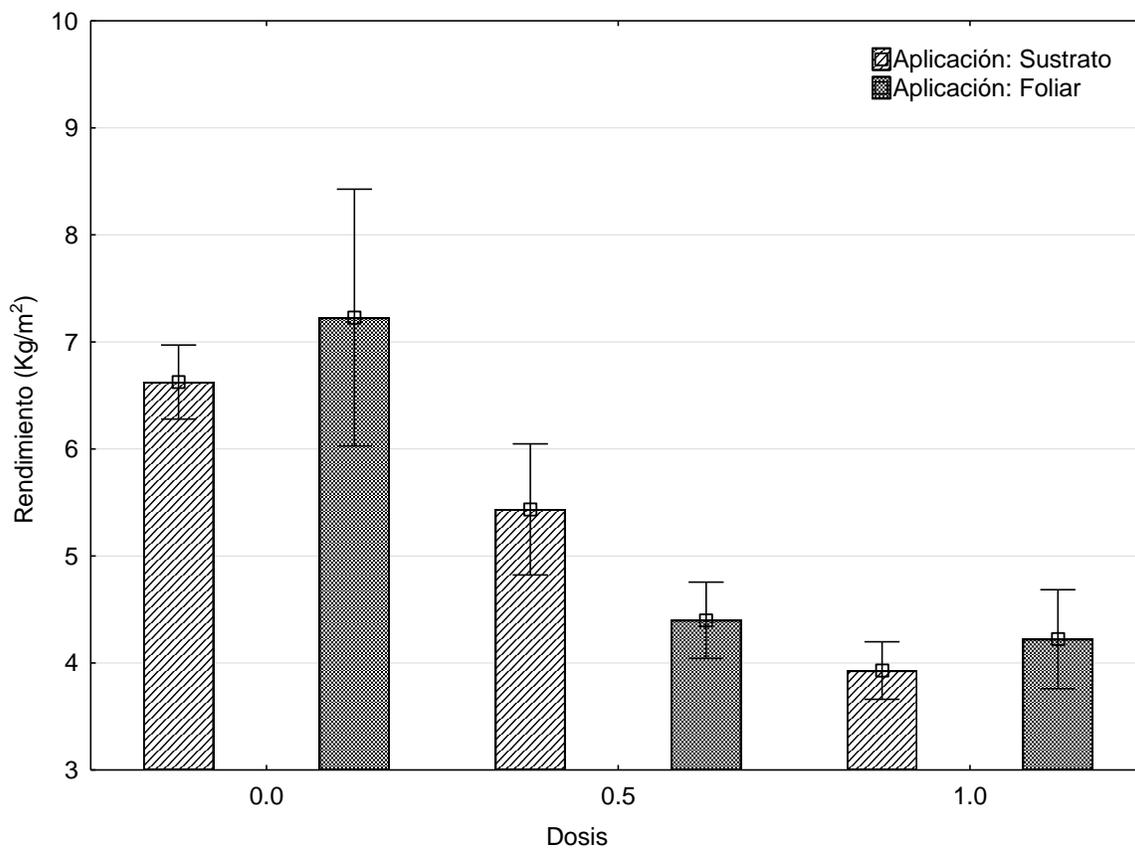


Figura 4. El rendimiento presentado con las aplicaciones de yoduro de potasio en melón.

4.1.5. Sólidos solubles totales y potencial óxido reducción

En cuanto a las características relacionadas con la calidad del fruto de melón, en la prueba de medias no presentaron diferencias estadísticas, lo que significa que los tratamientos no afectaron la calidad del fruto (Cuadro 4.4).

4.1.6. Concentración de yodo en los frutos de melón

En el Cuadro 4.4, se muestra el factor aplicación donde no presentó diferencias significativas de acuerdo a la prueba de rango múltiple. En cuanto al factor dosis la dosis 0.5 mM I^- de yoduro de potasio presento los mejores concentraciones de yodo en el fruto de melón, en la Figura 5, se observa que las concentraciones bajas de 0.5 mM I^- presentan las mejores concentraciones de yodo en los frutos de melón siendo los mejores tratamientos para poder utilizar en un programa de biofortificación. Una forma para evitar la complejidad de los fenómenos de absorción y transporte del yodo cuando este se aplica al suelo, es aplicarlo por medio de aspersión foliar en forma de yoduro y yodato (Zanirato y Mayerle, 2009), encontrándose buenos resultados al compararlo con las aplicaciones al suelo (Lawson *et al.*, 2015). En otro estudio reciente Tonacchera *et al.* (2013) lograron aumentar la concentración de yodo en papa, zanahoria, tomate y lechuga aplicando yodo como aspersión foliar. Los resultados obtenidos indicaron que las partes comestibles de las plantas alcanzaron hasta 30% de la recomendación diaria (RDA) de consumo de yodo sin afectar otros aspectos de la calidad de los alimentos. En el cultivo de melón con las dosis 0.5 mM I^- de yoduro de potasio, al suelo y foliar se logró tener la mejor concentración en el fruto.

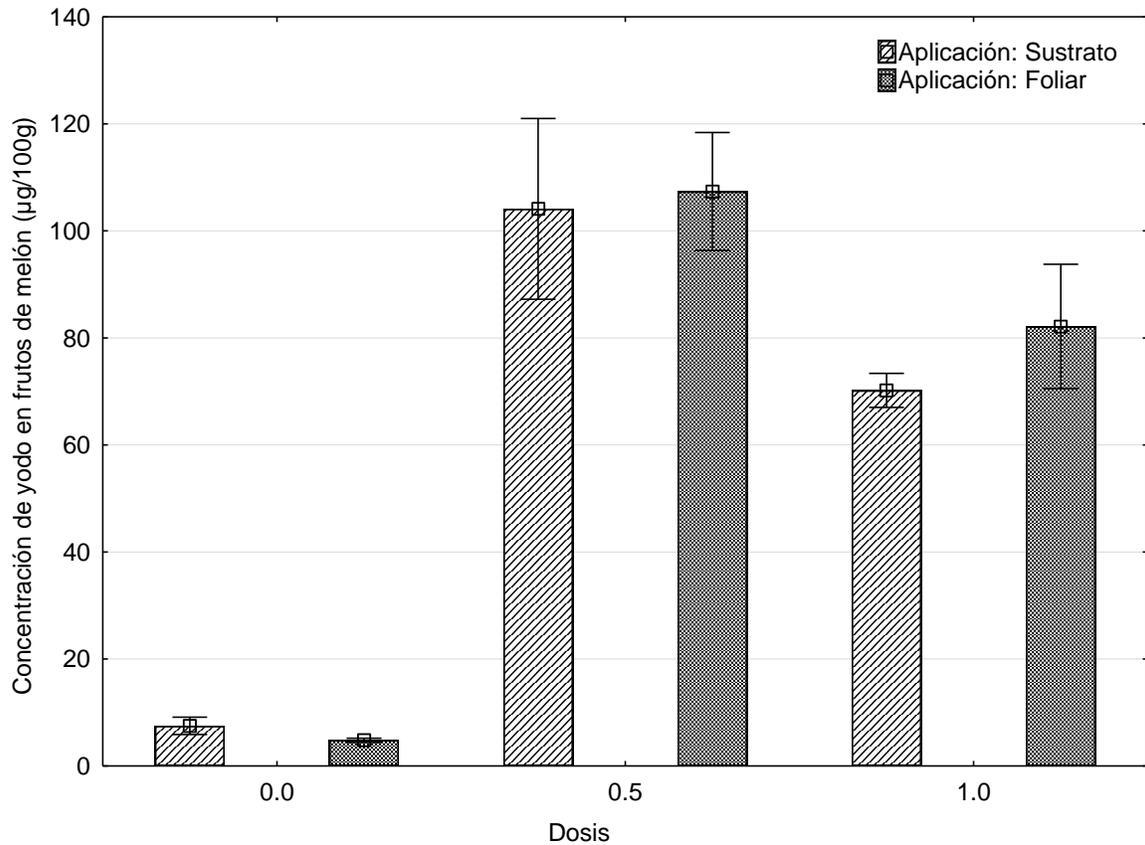


Figura 5. Concentración de yodo en frutos de melón con las aplicaciones de yoduro de potasio.

Cuadro 4.3. Comparación de medias de las variables morfológicas y fisiológicas.

Aplicación	NFH	NFM	NH	AF (cm ²)	Conductancia estomática	
					49 ddt	81 ddt (mmol m ⁻² s ⁻¹)
Sustrato	62.72 a	386.50 a	123.92 a	16101.83 a	189.35 b	211.92 a
Foliar	61.39 a	374.25 a	127.25 a	15437.71 a	218.98 a	212.82 a
Dosis (mM l)						
0.5	65.83 a	399.50 a	138.17 a	16211.46 ab	226.40 a	227.76 a
1.0	64.50 a	339.00 a	103.13 b	13068.30 b	172.52 b	191.91 a
0.0	55.83 a	402.63 a	135.46 a	18029.57 a	213.58 a	217.43 a

Continúa... Cuadro 4.3.

Aplicación	NFH	NFM	NH	AF (cm ²)	Conductancia estomática	
					49 ddt	81 ddt (mmol m ⁻² s ⁻¹)
Media	62.06	380.38	125.58	15769.77	204.16	212.37
Máximo	90.00	687.00	182.00	23240.62	263.90	294.30
Mínimo	28.00	189.00	68.00	8957.88	82.50	123.00

*DMS a un nivel de significancia del 0.01, medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

Cuadro 4.4. Comparación de medias de las variables relacionadas con el rendimiento, sólidos solubles totales, oxido-reducción y concentración de yodo en los frutos de melón.

Aplicación	NF	PPF (Kg)	REND (Kg/m ²)	SST (%)	ORP (mV)	Yodo (µ/100g)
Foliar	1.42 a	1.03 a	5.28 a	8.63 a	-43.20 a	64.78 a
Dosis (mM I ⁻¹)						
0.5	1.50 a	0.93 a	4.92 b	8.73 a	-38.60 a	105.74 a
1.0	1.29 a	0.91 a	4.08 b	8.01 a	-40.40 a	76.17 b
0.0	1.88 a	1.01 a	6.93 a	8.59 a	-55.72 a	6.16 c
Media	1.56	0.95	5.31	8.44	-44.91	62.69
Máximo	3.00	1.41	11.75	10.20	25.50	176.15
Mínimo	1.00	0.40	2.44	6.40	-100.60	3.24

*DMS a un nivel de significancia del 0.01, medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

4.2 Análisis de multivariado de componentes principales y correlaciones

Con la finalidad de observar las asociaciones entre variables con aplicaciones de yoduro de potasio, se procedió a realizar un análisis de correlación Pearson y un análisis de componentes principales lo cual me permitió transformar un conjunto de variables correlacionadas o no correlacionadas, con información redundante, que me permitirá la reducción de la dimensionalidad de las variables.

En el Cuadro 4.5, se presenta la matriz de correlación de las variables morfológicas y fisiológicas. En las variables morfológicas se encontró una correlación positiva del NF con las variables AF y REND se puede atribuir a mayor número de frutos necesitará mayor área foliar y, por lo tanto, mayor será el rendimiento. En cuanto al ORP tiene correlación negativa con el NF y REND. En los SST está muy correlacionado con COND49.

Cuadro 4.5. Matriz de correlación de las variables de morfológicas y fisiológicas en seis tratamientos con aplicaciones de yoduro de potasio en melón.

Variables	NF	PPF	REND	SST	ORP	NFH	NFM	NH	AF	COND49	COND81	I
NF	1.00											
PPF	-0.06	1.00										
REND	0.87*	0.43	1.00									
SST	0.22	0.21	0.32	1.00								
ORP	-0.87*	-0.12	-0.86*	-0.22	1.00							
NFH	-0.33	-0.16	-0.38	-0.48	0.59	1.00						
NFM	0.44	0.38	0.53	-0.05	-0.13	0.15	1.00					
NH	0.56	0.39	0.68	0.60	-0.29	-0.08	0.75	1.00				
AF	0.89*	0.18	0.90*	0.48	-0.73	-0.20	0.52	0.81	1.00			
COND49	0.15	0.19	0.24	0.99**	-0.16	-0.54	-0.07	0.54	0.39	1.00		
COND81	0.14	-0.11	0.05	0.74	-0.09	-0.68	0.00	0.37	0.16	0.82*	1.00	
I	-0.67	-0.39	-0.80	0.03	0.89*	0.60	-0.25	-0.16	-0.50	0.06	0.06	1.00

*, ** $P \leq 0,05, 0,01$, respectivamente. NF = Número de Frutos; PPF = Peso promedio fruto (Kg); Rendimiento (Kg/m²); SST Sólidos solubles Totales (%); ORP = Potencial de Oxidación-Reducción (mV); NFH = Número de flores por planta hembra; NFM = Número de flores macho; Número de hojas; AF = área foliar (cm²); NH = Número de hojas Conductancia estomática 49 y 81 días después de trasplante (mmol m⁻² s⁻¹); I =Contenido de yodo en fruto (µg/100g).

En el multivariado de componentes principales CPs (Cuadro 4.6), donde se representan cuatro CPs que representan 94.81% de la varianza total. Los valores cercanos a 1.0 ó -1.0, son más relevantes, mientras aquellos valores menores a la unidad aportan poca explicación a la variación total, el primer componente principal está explicando 46.42% de la varianza y representa por las variables NF y REND con valores positivos y una correlación en negativo con ORP y I, el cual están representados en un biplot (Figura 6), donde se grafica los dos primeros componentes principales que representan 69.68% de la varianza total. En el segundo componente principal, esta relacionados en positivo la conductancia

estomática a los 49 y 81 ddt, también el contenido de sólidos solubles que explica 23.26% de la varianza y el tercer componente principal NFM, NH y AF está conformado por estas variables que explica 15.32% de la varianza y finalmente el cuarto componente principal lo representa el PPF, que explica 9.81% de la varianza. De acuerdo a estos resultados se observa el biplot (Figura 6), donde los testigos foliar y testigo suelo (TEFOL y TESUS), le favorecen las variables relacionadas con el rendimiento y morfología (NH, AF, REND, NF, NFM y PPF). Sin embargo, el mejor tratamiento de acuerdo al análisis multivariado por su cercanía al origen del biplot son la aplicación de yoduro de potasio en la dosis 0.5 mM l⁻¹ al sustrato (0.5KIS).

Cuadro 4.6. Componentes principales y aportación relativa de cada variable con aplicaciones de yoduro de potasio en melón.

Variables	Componentes principales			
	1	2	3	4
NF	0.80	0.07	0.53	-0.27
PPF	0.11	0.06	0.20	0.96
REND	0.79	0.10	0.55	0.22
SST	0.06	0.93	0.24	0.07
ORP	-0.98	-0.11	-0.14	0.04
NFH	-0.62	-0.63	0.34	-0.15
NFM	0.10	-0.17	0.82	0.28
NH	0.14	0.40	0.89	0.18
AF	0.59	0.23	0.74	-0.07
COND81	0.03	0.91	0.00	-0.13
COND49	0.02	0.97	0.17	0.08
I	-0.94	0.10	-0.01	-0.31
Eigenvalue	5.57	2.79	1.84	1.18
% Varianza	46.42	23.26	15.32	9.81
% Varianza acumulada	46.42	69.68	85.00	94.81

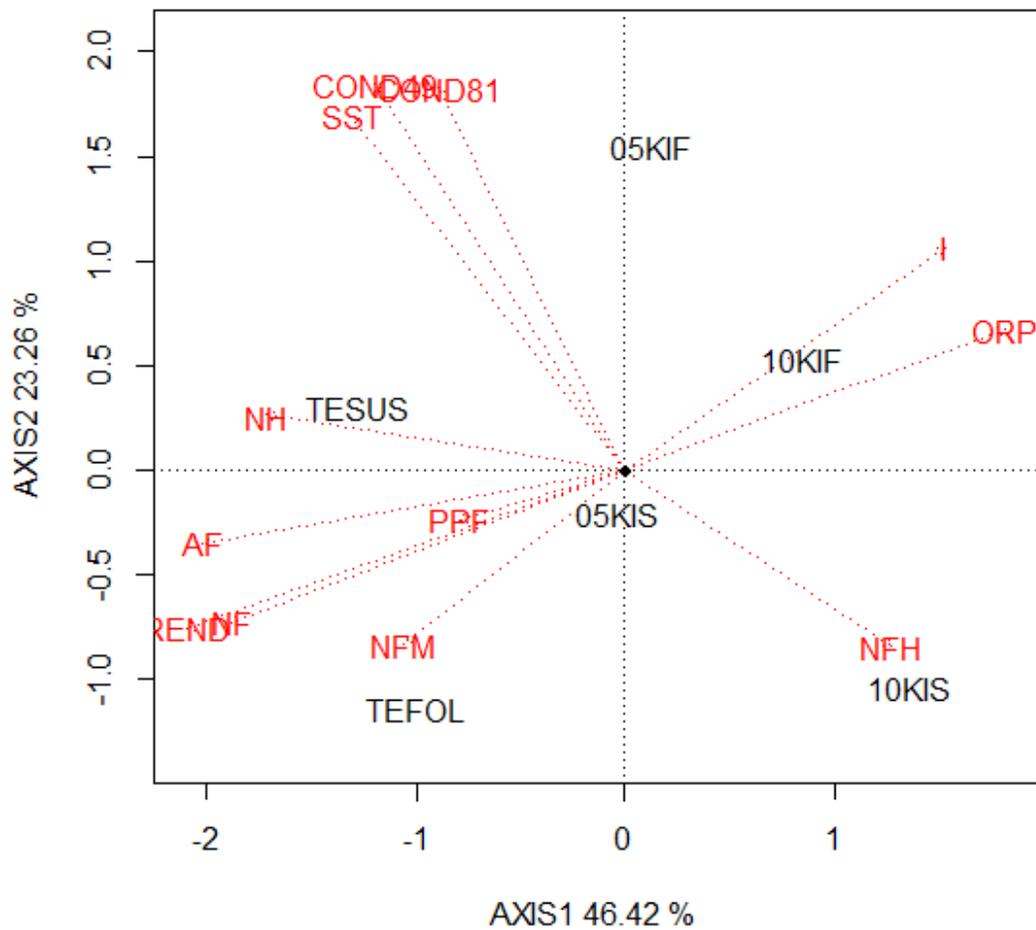


Figura 6. Biplot de los dos primeros componentes principales de las respuestas de las variables evaluadas en el melón a las aplicaciones de yoduro de potasio. TESUS= Aplicación de yodo al sustrato en el testigo 0.0 mM I⁻; TEFOL= Aplicación de yodo foliar en el testigo 0.0 mM I⁻; 05KIS= Aplicación de yodo al sustrato 0.5 mM I⁻; 05KIF= Aplicación de yodo foliar 0.5 mM I⁻; 10KIS= Aplicación de yodo al sustrato 1.0 mM I⁻; 10KIF= Aplicación de yodo foliar 1.0 mM I⁻.

5. CONCLUSIÓN

De acuerdo al análisis de varianza de las variables morfológicas y fisiológicas muestran diferencias estadísticas $p \leq 0.01$ y 0.05 , en la fuente de variación dosis para las variables NH, AF y para la conductancia estomática 49 ddt con una diferencia significativa ($p \leq 0.01$)

Para el análisis de varianza relacionado con las variables rendimiento, sólido solubles totales y contenido de yodo en los frutos de melón, presentan diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$). En la fuente de variación Dosis el REND y Dosis de yodo en los frutos y el resto de las variables no presentan diferencias significativas.

La mejor concentración de yodo en el fruto de melón se presenta en la dosis 0.5 foliar y sustrato, siendo los tratamientos recomendables para utilizar en un programa de biofortificación

6. LITERATURA CITADA

- Aller**, A.J., J.L. Bernal, M.J. del Nozal, L. Deban. 1990. Effects of selected trace elements on plant growth. *J. Sciencie food agricultura*. 51:447-479.
- Amachi**, S., Y. Kamagata, T. Kanagawa, Y. Muramatsu. 2001. Bacteria mediate methylation of iodine in marine and terestrial environments. *Appl Environ Microbiol*. 67:2718-2722.
- Aston**, S.R and P.H. Brazier. 1979. Endemic goiter, the factors controlling iodine deficiency in soil. *Sci Total Environ*. 11: 99-104
- Blasco**, B.; Ríos, J. J.; Cervilla, L. M.; Sanchez-Rodríguez, E.; Ruiz, J. M. and Romero, L. 2008. Iodine biofortification and antioxidant capacity of lettuce: potential benefits for cultivation and human health. *Ann. Appl. Biol*. 152(3):289-299.
- Bostock**, A. C., G. Shaw, J.N. Bell. 2003. The volatilization and sorption of (129) in coniferus forest, glassland and frozen solis. *J. Environ. Radioact*. 70:29-42.
- Boyhan**, G.E., W.T. Kelley y D.M. Granberry. 1999. Culture of melons, In: Cantaloupe and Specialty melons. The University of Georgia College of agricultura and Enviromental Sciences Cooperative Extension Service. Bulletin 1179.
- Camero**, A. 2014. Proceso de Oxido-reducción de los seres vivientes. Leyes termodinámicas. Caracas. P. 2.
- Casanova**, A.; Gómez , O.; Depestre, T.; Igarza, M.; León, M.; Santos, R.; Chailloux , M.; Hernández, J. C. y F.R. Pupo. 1999. Guía Técnica para la producción Protegida de hortalizas en casa de cultivos tropicales con efecto sombrilla. La Habana, I.I.H. "L. Dimitrova".
- Charlton**, K. E.; Jooste, P. L.; Steyn, K.; Levitt, N. S. and Ghosh, A. 2013. A lowered salt intake does not compromise iodine status in Cape Town, South Africa, where salt iodization is mandatory. *Nutrition*. 29(4):630-634.
- Da Matta** F. 2004. Exploring droght tolerance in coffe: a physiological approach with some insights for plant breeding. *Journal Plant Physiology*. 16: 1-6.
- Fridovich** I. 1978. The biology of oxygen radicals. *Science*. 201(4359): 875-880.

- Fuller**, H., J. y D.D. Ritchie. 1967. General Botany, ed. Barnes y Noble. New York, USA. 232 p.
- Goldschmidt**, V.M. 1954. Geochemistry. Oxford University Press.
- Gil**, M., F., Rodríguez, R., E., Jasso, C., D y Zermeño, A., A. 2006. Resistencia estomática, transpiración y potencial hídrico en sábila con diferentes condiciones ambientales. Terra Latinoamericana. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Vol. 24. Núm.3, pág., 355.
- Halliwel**, B., 1996. Antioxidants in humans health and diseases, Annual Reviews. 16, 33-50.
- Halliwel** B, Gutteridge MC. 1998. Free Raicals in Biology and Medicine. 3 Ed Oxford Science Publications. Oxford. 936 pp.
- Hinojosa**. S. L., A., 2009. Estudio del comportamiento agronómico de genotipos de papa (*Solanum spp.*) bajo estrés hídrico en invernadero. Universidad central del Ecuador. Quito- Ecuador.
- Hotz** C. 2013. Biofortification. In: Benjamin, C. (ed.) Encyclopedia of Human Nutrition (Third Edition). Waltham Academic Press. P. 175-181.
- Laternus**, F. 2001. Marine macroalgae in polar regions as natural sources for volatile organohalogens. Environ Sci Pollut Res Int. 8:103-108.
- Lawson**, P. G.; Daum, D.; Czauderna, R.; Meuser, H. and Härtling, J. W. 2015. Soil versus foliar iodine fertilization as a biofortification strategy for field-grown vegetables. Frontiers Plant Sci. 6:450.
- Lemus** I., Y., J.C Hernández S. 2003. Situación actual del mejoramiento genético del melón para la resistencia del Mildiu pulverulento de las cucurbitáceas. Temas de ciencia y tecnología. 7(19): 25-36
- Leung**, A.M. Braverman, L.E. Pearce, E.N. 2012. History of U.S. Iodine fortification and supplementation. Nutrients. 4:1740-6.
- López** R. R., Echeverri F. 2007. Son seguros y efectivos los antioxidantes? Scientia Et Tehnica. 8 (33): 41-44
- Ludlow** M. & Muchow R. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in waterlimited environments. Advances in Agronomy. 43:107-151.
- Marco** M. H. 1969. El melón: Economía, producción y comercialización. Editorial Acribia. España. Pp. 42 -45, 49-52, 53-64.

- Marine**, D. Kimball O.P. 1917. The prevention of the simple goiter in man. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*. 3:40-48.
- Melse-Boonstra**, A. Jaiswal. 2010. Iodine deficiency in pregnancy, infancy and childhood and its consequences for brain development. *Best pract. Res. Clin. Endocr. Metab.* 24, 29-38.
- Mohseni**, S.M. S.S. Vahidi, H. Adolghaffari, A.H. Nikfar S. y Abdollahi. M., 2005. Antioxidant therapy in the management of acute, chronic and post- ERCP pancreatitis: a systematic review. *World Journal of Gastroenterology*. 439, 25-31.
- NOM** 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-038-SSA2-2002, Para la prevención, tratamiento y control de las enfermedades por deficiencia de yodo. ("http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/038ssa202.html" consulta diembre 2016)
- Nuttall**, S.L. Kendall, M.J. y Martin, U., 1999. Antioxidant therapy for the prevention of cardiovascular disease. *Quarterly Journal of Medicine*. 92, 239-244.
- Pachón** H. 2010. El impacto nutricional de cultivos biofortificados. AgroSalud, CIAT, CIMMYT, CIP, CLAYUCA. Consulta: 26/01/2017. http://www.agrosalud.org/index.php?option=com_docman&task=doc_download&Itemid=99999999&gid=295
- Pérez-López**, F.R. 2007. Iodine and thyroid hormones during pregnancy and pospartum. *Gynecological Endocrinology*. 23:414-428.
- Reed**, P., Terry, F.D., Schlumberger, M.J., Hay, I.D. 2003. Thyroid physiology and diagnostic evaluation of patients with thyroid disorders. In: Kronenberg HM, Melmed S, Polonsky KS, editors. *Williams Textbook of Endocrinology*. 10th Ed. Pensilvania: Saunders. 331-65.
- Rios** J.J., Rosales M.A., Blasco B., Cervilla L.M., Romero L., Ruiz J.M. 2008. Biofortification of Se and induction of the antioxidant capacity in lettuce plants. *Scientia Horticulturae*. 116 248-255.
- 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.
- Ristic-Medic**, D., Piskackova, Z., Hooper, L., Ruprich, J., Casgrain, A., Ashton, K., Pavlovic, M. & Glibetic, M. 2009. Methods of assessment of iodine status in

humans: a systematic review. The American Journal of Clinical Nutrition. 89:2052S-2069S.

Seki, R., T. Takahashi, N. Ikeda. 1984. Adsorption behavior of radioactive iodide and iodate in soil. Radioisotopes 33:51-54.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2015. (SIAP) Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Consulta. Noviembre 2016.

Sistema Producto melon. 2012. Plan Rector Sistema Nacional Producto Melon http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/nacionales/exp_cnsp_melon/plan%20rector%20que%20contiene%20programa%20de%20trabajo%202012/pr_cnsp_%20melon_%202012.pdf Consulta: diciembre 2016. p.p.6.

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. 11.001.

Shinonoga T. Gerzabek M.H. Strebl F. Muramatsu Y. 2001. Transfer of iodine from soil to cereal grains in agricultural áreas of Austria. Sci Total Environ. 267:33-40.

Squeo F. & Leon F. M., Transpiración capitulo 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.

Tonacchera, M.; Dimida, A.; De Servi, M.; Frigeri, M.; Ferrarini, E. and De Marco, G. 2013. Iodine fortification of vegetables improves human iodine nutrition: *in vivo* evidence for a new model of iodine Prophylaxis. J. Clinical Endocr. Metab. 98(4):694-697.

Trumpff C. De Schepper J. Tafforeau J. Van Oyen H. Vanderfaeillie J. Vandevijvere S. 2013. Mild iodine deficiency in pregnancy in Europe and its consequences for cognitive and psychomotor development of children. J Trace Elem Med Biol. En prensa.

Uttara, B. Singh, A.V. Zamboni, P. y Mahajan, R.T. 2009. Oxidative stress and neurodegenerative diseases: A review of Upstream and Downstream antioxidant therapeutic options, Current Neuropharmacology. 7, 65-74.

- 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.
- Welch**, R. M. Graham, R.D. 1999. A new paradigm for world agriculture: meeting human needs. Productible, sustainable, nutritious. *Field Crop Research*. 60:1-10.
- Welch**, R.M. 2002. The impact of mineral nutrients in food crops on global human health. *Plant and Soil*. 247:83-90.
- Weng**, H.X.; Yan, A.I.; Hong, C.L.; Xie, L.L.; Qin, Y.C. and Cheng, C.H. 2008. Uptake of different species of iodine by water spinach and its effect growth. *Biol. Trace Elem. Res.* 124(2):181-194.
- Wong**, G.T.F. 1991. The marine geochemistry of iodine. *Rev. Aquatic Sci.* 4:45-73.
- White** P. J. y Broadley M.R. 2005. Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends of Plant Science*. 10 586- 593.
- 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.
- Zanirato**, V. and Mayerle, M. 2009. Method for enriching crops with iodine, and crops thus obtained. International Patent PCT/ EP2009/050142.
- Yin** X, YUAN L, LIU Y, LIN Z. 2012. Phytoremediation and Biofortification: Two Sides of One Coin. P 1-6. In: Yin X, Yuan L. (eds.) *Phytoremediation and Biofortification*. Springer
- Yocohama**, Y. and M. Kobayashi. 2003. Nano-scaled dynamics of iodine tetrahedron in α -Agl. *Solid State Ionics*. 159:279-287.
- Zimmermann**, M.M. & Delange, F. 2004. Iodine supplementation of pregnant women in Europe: a review and recommendations. *European Journal of Clinical Nutrition*. 58:979-984.

Citas consultadas en Internet

http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/nacionales/EXP_CNSP_MELON/PLAN%20RECTOR%20QUE%20CONTIENE%20PROGRAMA%20DE%20TRABAJO%202012/PR_CNSP_%20MELON_%202012.pdf Consulta 01-02-2017. Sistema producto melón 2012.

http://www.thyroid.org/wp.content/uploads/patients/brochures/espanol/deficiencia_de_yodo.pdf

<http://solagrosemillas.com.mx/semilla-de-melon-cruiser-harris-moran.html>. Fecha de consulta 04 del 2017.

<http://www.hortalizas.com/cultivos/cucurbitaceas/importancia-de-polinizadores-en-cucurbitaceas/> 03 -04-2017.