

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Evaluación de Concentraciones de Bicarbonatos en la Solución Nutritiva en el Cultivo de Frambuesa (*Rubus Idaeus L.*)

Por:

**MARIO MARTÍN RODRÍGUEZ AGUILAR**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Evaluación de Concentraciones de Bicarbonatos en la Solución Nutritiva en el  
Cultivo de Frambuésa (*Rubus idaeus* L.)

Por

**MARIO MARTÍN RODRÍGUEZ AGUILAR**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:




Dr. Armando Hernández Pérez  
Asesor Principal Interno



M.C. Felipio Ausencio Díaz Vázquez  
Asesor Principal Externo



Dr. José Antonio González Fuentes  
Coasesor



Dr. Alonso Méndez López  
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Noviembre, 2023

## Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Mario Martín Rodríguez Aguilar

Asesor



Dr. Armando Hernández Pérez

## AGRADECIMIENTOS

**A Dios:** Agradezco principalmente a Dios por darme vida para cumplir esta meta, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en momentos de debilidad.

**A mis Padres:** Gracias a ellos todo esto fue posible.

**A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** (Mi Alma Mater) por abrirme las puertas dándome la oportunidad de ser parte de esta honorable institución, forjarme como un ingeniero competente y con muchos valores adquiridos en mi estancia en la universidad.

**Al Dr. Armando Hernández Pérez:** Agradezco al Doctor Armando por darme la oportunidad de poder realizar este trabajo, por la orientación y ayuda que me brindo para la realización de esta tesis, por su amistad que me permitieron aprender más que lo estudiado en este proyecto.

**Al Dr. Felicito Ausencio Díaz Vázquez:** Agradezco por su amistad y los apoyos brindados tanto en esta última etapa de formación profesional como en la vida.

**Al Dr. José Antonio González Fuentes:** Agradezco su amistad y su apoyo durante mi estancia en la universidad.

**Al Dr. Alonso Méndez López:** Agradezco su amistad, sus consejos y su apoyo durante mi estancia en la universidad.

**Al Ing. Jorge Isaac Arreola Nuñez:** Por su amistad, consejos, apoyo y tips tanto técnicos como personales, además de que fue y es uno de los ejemplos que tengo desde chico en esta bonita profesión.

**A la Ing. Carmen Alvarez:** Por su amistad incondicional, le agradezco que fue la persona que estuvo en mis peores momentos y jamás dejó que me rindiera.

## DEDICATORIA

**Mi familia:** Este logro es dedicado principalmente a mi familia quienes han creído en mí siempre, dándome el ejemplo de superación, sacrificio y humildad, siendo estos los cimientos de mi desarrollo personal y profesional, les agradezco el tiempo que han destinado para enseñarme cosas nuevas y por apoyarme cuando más lo he necesitado.

**A Gregorio Aguilar:** Le agradezco hasta el cielo por todos los consejos, el cariño que siempre me demostró y por heredarme la pasión al campo.

**A mis amigos:** Por acompañarme y brindarme su apoyo durante esta hermosa etapa: Carmen Álvarez, Samuel Vargas, Bryan López, Daniel Flores, Hosanna Longoria, Carlos Piceno, Fernando García, Francisco de Anda, Leonel Salinas, Lizbeth Martínez, Hugo Robledo, Ernesto Hernández, Ignacio Flores, Armando López, Gustavo Pacheco, Christian Cuevas, Rubén Bravo, Miguel Zamora, Aaron Huerta, Balamquitze Mejía, Max Sánchez, Rigoberto González, Manuel Segovia, José Carlos, Uriel Colín, Valeria Castañeda, Aaron Isaías, Jairo Naim, Alberto Preciado, Juan Dolores, Ángel Meza.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>VII</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO .....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XIII</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
1.1 Objetivo general .....	15
1.2 Objetivos específicos .....	15
1.3 Hipótesis.....	15
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
2.1 Antecedentes del cultivo .....	16
2.2 Importancia nacional y mundial del cultivo .....	16
2.3 Clasificación taxonómica .....	18
2.4 Descripción botánica .....	18
2.5 Composición nutricional:.....	19
2.6 Requerimientos edafoclimaticos.....	20
2.7 Calidad del agua de riego.....	21
2.7.1 pH .....	21
2.7.2 pH sobre la absorción de nutrientes.....	22
2.7.3 Alcalinidad de agua de riego.....	23
2.7.4 Carbonatos y Bicarbonatos .....	23
2.7.5 Alcalinidad en las Plantas.....	24
2.8 Tratamientos para bicarbonatos .....	24
2.8.1 Ácido sulfúrico .....	24
2.8.2 Ácido sulfúrico en la agricultura.....	25
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
3.1 Ubicación del experimento .....	26
3.2 Material vegetal.....	26
3.3 Diseño experimental .....	26
3.4 Análisis estadístico.....	27
3.5 Metodología experimental.....	28

3.6 Variables Evaluadas.....	29
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>33</b>
<b>V. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>39</b>
<b>vi. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>40</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1. Datos de producción de frambuesa en México en el año 2021. ....	17
Tabla 2. Producción mundial de frambuesa a nivel mundial. ....	17
Tabla 3. Contenido mineral y nutrimental de la frambuesa. ....	19
Tabla 4. Densidades y purezas de los ácidos de uso agrícola. ....	24
Tabla 5. Tratamientos considerados en la modificación del pH en solución nutritiva. ....	27
Tabla 6. Solución nutritiva a aplicar al cultivo de frambuesa. ....	29
<b>Tabla 7.</b> Efecto de la concentración de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) en variables de crecimiento del cultivo de frambuesa. ....	34
<b>Tabla 8.</b> Comparación de medias de variables de biomasa evaluadas, por efecto del pH y la disponibilidad de nutrientes en cultivo de frambuesa. ....	36
<b>Tabla 9.</b> Comparación de medias de variables de calidad de fruto de frambuesa por efecto de modificación en el pH de la solución nutritiva. ....	38



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variabilidad de la disponibilidad de nutrientes por efecto del pH .....23

## RESUMEN

La alcalinidad y la acidez a gran concentración, disminuyen el crecimiento, limitando muchos procesos fisiológicos y afectando en gran medida la producción del cultivo, el presente experimento tiene como objetivo determinar diferentes niveles de alcalinidad en el cultivo de frambuesa (*Rubus idaeus*). El manejo se realizó con una solución nutritiva base Steiner al 100%, se neutralizaron distintas concentraciones de Bicarbonatos en el agua de riego, con lo cual se presentaron diferentes niveles de pH. Se estableció un diseño de bloques completamente al azar, con 4 tratamientos y 6 repeticiones, las variables que se evaluaron son las siguientes: Altura de planta, diámetro inferior del tallo, longitud de raíz, volumen de raíz, peso seco de raíz, peso seco de hojas, peso seco de tallo, peso seco total, porcentaje de humedad en hojas, porcentaje de humedad en raíz, porcentaje de humedad en tallo, peso del fruto, diámetro polar del fruto, diámetro ecuatorial del fruto, rendimiento por planta, sólidos solubles totales. Se encontró que el pH manejado a diferentes concentraciones de bicarbonatos presenta efectos importantes en la planta, las variables altura de la planta, longitud de raíz, volumen de raíz peso seco de raíz, peso seco del tallo, peso seco total, porcentaje de humedad en raíz, peso del fruto, diámetro ecuatorial del fruto, rendimiento por planta y sólidos solubles totales se presentó una diferencia altamente significativa, en las cuales los mejores resultados se observaron cuando al neutralizar los bicarbonatos en el agua de riego mantienen un equilibrio dejando solamente 1 bicarbonato libre, las variables diámetro inferior del tallo y porcentaje de humedad en tallo presentaron una diferencia significativa, obteniendo los mejores resultados con ligera concentración alcalina, por otro lado las variables peso seco de hojas, porcentaje de humedad en hojas y diámetro polar del fruto no presentaron diferencia significativa. La concentración de 1 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> fue en la que encontramos mejores resultados.

**Palabras Clave:** Alcalinidad, pH, Solución Nutritiva, frambuesa

## I. INTRODUCCIÓN

La frambuesa (*Rubus idaeus*), pertenece a la familia *Rosaceae* y junto con el arándano, fresa y zarzamora son considerados “Berries” o “Frutillas” debido a los colores brillantes y pequeño tamaño de los frutos. Se distinguen por su alto contenido de antioxidantes, minerales y vitamina (Pérez, 2020).

La frambuesa tiene orígenes, en forma silvestre, en el monte Ida de la isla Creta en Grecia, por ello Carlos Linneo denominó la especie como *idaeus*. Aunque diferentes autores sugieren que esta especie se extendió a partir de las montañas de Ida en Turquía (García *et al.*, 2014).

Como lo menciona Díaz (2020) la producción y comercialización de frambuesa ha aumentado considerablemente en México, esto a medida debido en gran medida a las características comerciales que presenta la frambuesa como atractivo sensorial, calidad nutracéutica, moda, comercialización, rentabilidad económica y alto precio unitario como fruto fresco en el mercado. Las frambuesas crecen mejor en lugares que tienen veranos frescos, inviernos templados y una temporada de cosecha sin lluvia (Raney, 2017).

El pH tiene una influencia muy importante sobre las plantas debido a que no solo es un factor condicionante de desarrollo de las raíces y la vida de microorganismos que son importantes para distintos procesos del suelo, sino que también tiene íntima relación con la asimilación de nutrientes, los cuales son de vital importancia para el mejor rendimiento de cualquier cultivo (Ortega, 2015).

El pH es un factor del cual dependen las metas de rendimiento del cultivo debido a que a determinado pH los nutrientes pueden ser o no asimilables para la planta, lo cual afectaría el desarrollo (Sánchez, 2021). La alcalinidad y el pH están muy relacionados y son medidos conjuntamente. El pH es la medida de la concentración de los iones de hidrógeno presentes en el agua o la acidez del agua, mientras que la alcalinidad es la capacidad del agua de neutralizar o regular los cambios de acidez (Adam y Bauder, 2012).

En el presente trabajo experimental se evaluó el efecto de la alcalinidad, expresada en relación a los bicarbonatos libres, sobre diferentes parámetros medibles del cultivo de frambuesa. Se utilizaron ácido sulfúrico para equilibrar los bicarbonatos presentes en el agua de riego.

### **1.1 Objetivo general**

Determinar el efecto de los bicarbonatos en el crecimiento, rendimiento y calidad de frutos de la planta frambuesa.

### **1.2 Objetivos específicos**

- ✘ Determinar el nivel óptimo de bicarbonato de la solución nutritiva que favorece mayor crecimiento en el cultivo de frambuesa.
- ✘ Determinar el nivel adecuado de bicarbonato de la solución nutritiva que favorece mayor rendimiento en el cultivo de frambuesa.
- ✘ Obtener el nivel ideal de bicarbonato que provee mayor calidad de fruto en el cultivo de frambuesa.

### **1.3 Hipótesis**

Al menos una concentración de bicarbonato de la solución nutritiva influye positivamente en la producción del cultivo de frambuesa.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Antecedentes del cultivo

Las frambuesas han estado creciendo en toda Europa durante siglos. Se cree que se originaron en el monte Ida en Turquía y se extendieron por toda la Europa mediterránea. Los romanos fueron los que se encargaron de llevarla por todo su imperio, incluso hasta Gran Bretaña (Raney, 2017).

Por otro lado, García (2014) sostiene que el origen de la frambuesa proviene del monte Ida perteneciente a la isla Creta en Grecia y durante la edad media, esta especie se extendió por toda Europa, desde Grecia e Italia, a los Países Bajos y a Inglaterra.

En el siglo XVI, en Inglaterra se comenzaron a cultivar las frambuesas, sin embargo, las frambuesas silvestres continuaron creciendo en todo el país y fueron cosechadas y utilizadas. Con el tiempo, se identificaron cepas superiores y se cultivaron en las plantas que todavía vemos hoy (Raney, 2017).

Fue en el año de 1771, cuando los británicos comenzaron a enviar plantas de frambuesa roja a Nueva York y a comienzos del siglo XIX se comenzaron a cultivar por Sudamérica, realizándose diversos estudios con el fin de mejorar variedades con el fin de mejorar su potencial productivo (Rocha, 2019).

En México se comenzaron a introducir cultivares mejorados en 1974 en la universidad de Chapingo, Estado de México (Quezada *et al* 2008).

### 2.2 Importancia nacional y mundial del cultivo

En 2019 México se colocó como el segundo productor mundial de frambuesas, con 128 mil 848 toneladas y presenta el mayor rendimiento agrícola de la frutilla en el mundo (SIAP, 2020).

Las exportaciones de estas frutillas en el periodo de junio del 2021 alcanzaron 713 millones de dólares, 18.9% más respecto a los 599.8 millones de dólares de junio del 2020, la producción aumentó un 13.6% con respecto al 2020. México hizo

exportaciones a 33 países que se encuentran localizados en América, Europa, Asia y Oceanía (SAGARPA, 2021).

En territorio mexicano, Jalisco se encuentra como el principal productor de estas frutillas, con 104 mil 80 toneladas, seguido de Michoacán con 28 mil 895 y Baja California con 10 mil 222 toneladas (SAGARPA, 2021).

Las frambuesas en México han tomado gran importancia, ya que se han exportado a 33 países ubicados dentro de América, Europa, Asia y Oceanía, siendo Estados Unidos el principal comprador. En México los principales estados productores son Jalisco, Michoacán y Baja California (Tabla 1) (SADER, 2021).

Tabla 1. Datos de producción de frambuesa en México en el año 2021.

Producto	Área	Año	Elemento	Unidad	Valor
Frambuesas	México	2021	Área Cosechada	Ha	8520
Frambuesas	México	2021	Rendimiento	hg/ha	194,449
Frambuesas	México	2021	Producción	Toneladas	165,676.62

Fuente: FAOSTAT, 2021

En el mercado mundial (Tabla 2) de la frambuesa, Rusia es el líder en cuanto a la producción, mientras que México y la República de Serbia están un poco por detrás. Estos tres países producen casi el 50% de la producción mundial total de frambuesas (Pantić *et al.*, 2021).

Tabla 2. Producción mundial de frambuesa a nivel mundial.

Producto	Área	Año	Elemento	Unidad	Valor
Frambuesas	Mundo	2021	Área cosechada	ha	110567
Frambuesas	Mundo	2021	Rendimiento	hg/ha	80181
Frambuesas	Mundo	2021	Producción	toneladas	886538.58

Fuente: FAOSTAT, 2021

### 2.3 Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica de la especie *Rubus idaeus* L. según el Sistema de Información de Biodiversidad es la siguiente (CONABIO, 2014).

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Rosales*

Familia: *Rosacea*

Subfamilia: *Rosoidae*

Tribu: *Rubeae*

Género: *Rubus*

Especie: *Rubus idaeus* L.

Nombre Común: Frambuesa

### 2.4 Descripción botánica

La frambuesa es un arbusto perenne, leñoso y caducifolio que varía desde los 1.5 m a 2.5 m según la variedad (García *et al.*, 2014).

**Raíz:** La frambuesa presenta un sistema radicular perenne, con raíces muy finas y ubicadas en los primeros 30 cm del suelo, por medio de la raíz se producen los conocidos hijuelos que son plantas productivas (Jiménez, 2009).

**Tallo:** Sus tallos son erectos, cubiertos de pequeñas espinas, fuertes y abundantes según la variedad pueden alcanzar una altura desde 150 cm hasta 250 cm (Díaz, 2020).

**Hojas:** La frambuesa presenta hojas compuestas de borde aserrado, con 3 a 5 folíolos de color verde intenso en el haz y un color gris pálido en el envés, presentando un peciolo largo (Morales y Gloria, 2009).

**Flor:** Las flores se encuentran en un cimo terminal sencillo; hermafroditas, poseen un cáliz formado por 5 sépalos verdes de velloso variable, una corola de 5 sépalos de color blanco (Díaz, 2020).

**Fruto:** Según Morales (2009), el fruto de la frambuesa se considera como una polidrupa formada por pequeñas drupas entre sí en torno al receptáculo del cual se desprenden una vez llegada la maduración, cada drupa presenta una única semilla.

**Brotes:** El número de brotes por planta va en función a la variedad y la edad que esta presenta (García *et al.*, 2014). Reciben nombres distintos según la etapa de crecimiento, primer o segundo año, diferenciados por 2 tipos:

Primocaña: Corresponden a brotes de primer año, en los cultivares remontantes son los que producen fruta a mediados de verano y a inicios de otoño en el extremo superior de la caña (Morales y Gloria, 2009).

Floricaña. Son cañas lignificadas de segundo año, los cultivares remontantes y no remontantes producen fruta sobre ella (García *et al.*, 2014).

Los cultivares establecidos y mayormente utilizados se pueden clasificar en función de su ciclo de cultivo, pudiendo expresarse como:

**Cultivares remontantes:** Corresponden a aquellas que florecen en cañas y en hijuelos durante la misma temporada, produciendo 2 cosechas por temporada (Morales y Gloria, 2009).

**Cultivares no remontantes:** Solo producen primordios florales en cañas y presentan solo una cosecha en la temporada (Morales *et al.*, 2017).

## 2.5 Composición nutricional:

Tabla 3. Contenido mineral y nutrimental de la frambuesa.

Tipo	Nutriente	Contenido
Proximales	Calorías (Kcal)	52
	Agua (g)	85.75
	Proteína (g)	1.20
	Lípidos totales (g)	0.65
	Carbohidratos totales (g)	11.94
	Fibra dietaria (g)	6.5
	Azúcares (g)	4.42
	Sacarosa (g)	0.2



	Glucosa (g)	1.86
	Fructosa (g)	2.35
Minerales	Calcio (mg)	25
	Hierro (mg)	0.69
	Fosforo (mg)	22
	Potasio (mg)	29
	Sodio (mg)	151
	Zinc (mg)	1
	Cobre (mg)	0.42
	Manganeso (mg)	0.090
Vitamina	Vitamina C (mg)	0.670
	Tiamina (mg)	26.2
	Riboflavina (mg)	0.032
	Niacina (mg)	0.038
	Ácido pantotético (mg)	0.598
	Vitamina B6 (mg)	0.329
	Colina (mg)	0.055
	Betaína (mg)	12.3
	Vitamina E, $\alpha$ -tecoferol (mg)	0.87

Fuente: Rao y Snyder, 2010

## 2.6 Requerimientos edafoclimaticos

**Suelo:** El cultivo de la frambuesa se puede adaptar a diferentes tipos de suelos mientras presenten un buen contenido de materia orgánica 5%, buen drenaje y profundidad entre 70-90 cm. Siendo los suelos francos donde se pueden obtener mayores rendimientos (Díaz, 2020).

**PH:** En el cultivo de la frambuesa el pH óptimo para cumplir con las metas de rendimiento es de 5.5 (Sánchez, 2021).

**Clima:** La frambuesa es un cultivo que puede resistir a bajas temperaturas invernales, pero las heladas provocan desordenes fisiológicos, las condiciones climáticas óptimas

para este tipo de cultivo son las de inviernos con bajas temperaturas constantes, pero no excesivas y veranos relativamente frescos (Hernández, 2022).

**Temperatura óptima:** Los rangos óptimos de temperatura son desde 14° a 29° C (García *et al.*, 2014).

**Temperatura mínima:** En la etapa de floración el botón floral cerrado resiste de los -1° a 3°, cuando abre la flor resiste de 0° a 7° C mientras que las heladas tardías pueden afectar considerablemente la etapa productiva (Hernández, 2022).

**Horas frío:** La frambuesa requiere de acumulación de horas frío, las cuales varían dependiendo de las variedades a cultivar, comúnmente oscilan entre 700 a 1200 horas frío (Martínez y Martínez, 2022).

## **2.7 Calidad del agua de riego**

La calidad del agua se comprendería por la composición que presenta, también tener los conocimientos de cada uno de los componentes, solos o en conjunto permitiendo establecer las posibilidades de utilizarla (Heredia, 2015).

Como lo menciona Heredia (2015), para poder interpretar la calidad de agua para riego, es necesario tomar en cuenta algunos factores que pueden ser agentes causantes de posibles riesgos para el cultivo al que se le valla a suministrar, entre los factores más importantes que determinan la calidad del agua agrícola se encuentran de la siguiente manera:

- Conductividad eléctrica (CE) o Sales Totales.
- Relación de adsorción de sodio (RAS).
- Aniones y Cationes presentes, con los que se puede reconocer la sal dominante en el agua evaluada.
- Carbonato de sodio residual (CSR).
- Porcentaje de Sodio Soluble (PSS).

### **2.7.1 pH**

La escala de pH mide la concentración de iones de hidrógeno (H<sup>+</sup>) en una solución, se encuentra en un intervalo de 0 a 14. Un pH de 7.0 o agua pura, es un pH neutral. Valores menores a 7.0 son llamados acídicos, y valores mayores a 7.0 son llamados básicos o alcalinos (Ríos, 2006).

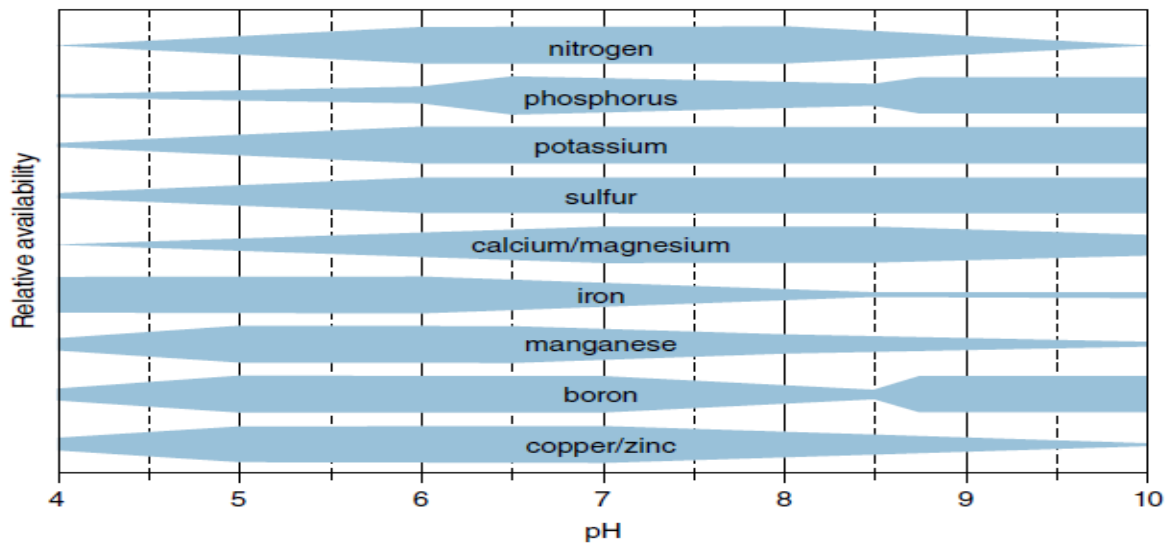
El pH en las soluciones nutritivas es muy importante ya que es el factor que controla las reacciones químicas que determinan si los nutrientes se encontrarán disponibles o no disponibles para su absorción. Por este motivo, los problemas nutritivos que ocurren comúnmente en los cultivos se dan cuando el pH está fuera del rango óptimo. El rango óptimo para la mayoría de los cultivos ornamentales es de 5,5 a 6,5 (Barbaro *et al.*, 2014).

### **2.7.2 pH sobre la absorción de nutrientes**

El pH tiene mucha importancia sobre la asimilación de los nutrientes, si el pH se encuentra en el rango óptimo la mayoría de los nutrientes se encontrarán disponibles y con mucha solubilidad. Cuando se presentan en forma mayormente ácida a este rango, pueden presentarse deficiencias de nitrógeno, potasio, calcio y magnesio, si se encuentran por encima de este rango, puede disminuir la solubilidad del hierro, fósforo, manganeso, zinc y cobre (Barbaro *et al.*, 2014).

La disponibilidad de nutrientes es un factor muy importante debido a que es un factor que influye mucho con las metas de rendimiento del cultivo, esto debido a que muchos elementos pueden o no ser asimilados, por lo tanto, se necesita tener una buena estabilidad de pH para asegurar que todos los elementos se encuentren altamente disponibles para la planta. El diagrama de Troug, representa de forma gráfica el efecto del pH sobre la disponibilidad del nutriente, de esta manera entre mayor grosor tenga la barra, mayor será la disponibilidad del nutriente (Santos & Ríos, 2016).

Figura 1. Variabilidad de la disponibilidad de nutrientes por efecto del pH



Fuente: Bailey et al., 1996

Como se observa en la figura para la mejor asimilación de los nutrientes el pH óptimo oscilaría entre los 5.5-6.5 en el que se podrán encontrar con buena disponibilidad la gran mayoría de los elementos (Bailey *et al.*, 1996).

### 2.7.3 Alcalinidad de agua de riego

La alcalinidad del agua es conocida como capacidad buffer (o de amortiguamiento) del agua que le permite mantener el pH ante el agregado de un ácido o una base. Ejemplos de bases que contribuyen a la alcalinidad en una solución son carbonatos, bicarbonatos, amonios, boratos, fosfatos, y silicatos (Torres *et al.*, 2010).

Aguas muy alcalinas producen un pH elevado en el sustrato. Cuando el pH es muy alcalino, algunos nutrientes no se encuentran disponibles para las plantas aunque se encuentren presentes en el sustrato (Torres *et al.*, 2010).

### 2.7.4 Carbonatos y Bicarbonatos

El  $\text{CO}_3^{2-}$  y el  $\text{HCO}_3^-$  están asociados con el pH, son los que provocan que el agua de riego sea alcalina. En las soluciones nutritivas originan un amortiguamiento de pH deseable, sin embargo, su presencia no es tan favorable por los inconvenientes que presentan al precipitar sales de calcio en el sistema de riego, específicamente en las

tuberías y emisores, por lo tanto, es necesario sustituir carbonatos y bicarbonatos por otros iones (Ríos, 2006).

### 2.7.5 Alcalinidad en las Plantas

La alcalinidad afecta de manera considerable el crecimiento en las plantas debido a que produce una indisponibilidad de los nutrientes en la solución nutritiva. La disminución de solubilidad se modifica en función del nivel del pH relacionada con concentraciones crecientes de bicarbonatos. Cuando los bicarbonatos se acumulan en una solución, esta alcanza niveles de pH que causan la inhibición de algunos elementos que son cruciales para el buen desarrollo de las plantas (Salgado, 2015).

### 2.8 Tratamientos para bicarbonatos

El principal tratamiento para la alcalinidad es la acidificación, la cual tiene como objetivo neutralizar la acción alcalina presente en el agua, hasta dejar como mínimo un 0.5 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Al llegar a esta concentración disminuye el pH a valores desde 5.5 hasta 6.5, rango en el cual se encuentra la óptima disponibilidad de los elementos (Rodríguez & Vega, 2022).

Tabla 4. Densidades y purezas de los ácidos de uso agrícola.

Densidad Kg/L	Riqueza de los Ácidos Comerciales		
	HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
1.34	55		
1.40	65-70		50
1.50	95	53	60
1.60		75	
1.73		95	77
1.84			90-9

Fuente: Robles *et al.*, 2015

#### 2.8.1 Ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico es un compuesto químico muy corrosivo cuya fórmula es H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, generalmente es obtenido a partir del dióxido de azufre, por oxidación con óxidos de

nitrógeno en disolución acuosa. Tiene una violenta reacción con agua y compuestos orgánicos que desprenden calor (Ríos, 2006).

### **2.8.2 Ácido sulfúrico en la agricultura**

La incorporación del ácido en los riegos es una alternativa que consiste en aprovechar el potencial del ácido sulfúrico para bajar el pH en la zona de aplicación y de esta manera poder activar la solubilidad de los elementos, esto se debe a que aumenta la solubilidad de muchos compuestos que contienen Fe, Zn, Mn, Ca y P, al disminuir el pH, con lo cual se incrementa significativamente los rendimientos (Lee et al., 1998).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Ubicación del experimento**

El experimento se llevó a cabo en un invernadero ubicado en el Departamento de Horticultura, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Buenavista, Municipio de Saltillo, estado de Coahuila México, localizada geográficamente a 25° 21' 21.9" Latitud Norte y 101° 02' 09.4" Longitud Oeste, a una altitud de 1742 m.s.n.m. El experimento se realizó en un invernadero de tipo capilla de mediana tecnología.

#### **3.2 Material vegetal**

El material vegetal utilizado en este experimento corresponde a plantas de frambuesa, de cultivar remontante con brotes de primocaña. Como medio de soporte de la planta se utilizaron sustratos Peat Moss y Perlita a una relación 70/30 (v/v), contenedores de bolsa de polietileno con capacidad de 15 L.

#### **3.3 Diseño experimental**

Se estableció el experimento bajo un diseño completamente al azar, 4 tratamientos consistentes en diferentes niveles de  $\text{HCO}_3^-$  en la solución nutritiva, con 6 repeticiones de cada tratamiento fueron aplicados al sustrato en el que permanecían establecidas las plantas de frambuesa, se consideró como unidad experimental a 1 planta por repetición, dando un total de 6 plantas por tratamiento y 24 plantas en todo el experimento.

Una vez establecido el experimento se evaluó el crecimiento de plantas de frambuesa desde trasplante hasta cosecha luego de su establecimiento en sustrato. Cada tratamiento estuvo conformado por aplicaciones de diferentes cantidades de ácido sulfúrico para controlar los bicarbonatos presentes en el agua, la cual presentaba de inicio 6 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, antes de utilizar el agua se mezcló con agua desionizada a una relación 50/50 (v/v), una vez realizada la mezcla se disminuyeron a 3 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, que fueron con los que se trabajaron los siguientes tratamientos, la aplicación de los tratamientos se llevó a cabo con riegos diarios de forma manual utilizando la solución nutritiva (SN) completa y balanceada (Steiner, 1961) aplicando un drenaje del 25%.

Tabla 5. Tratamientos considerados en la modificación del pH en solución nutritiva.

TRATAMIENTOS	Meq L <sup>-1</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> SIN NEUTRALIZAR	pH de la Solucion
TRATAMIENTO 1	3	7.0-7.5
TRATAMIENTO 2	2	6.0-6.5
TRATAMIENTO 3	1	5.5-5.9
TRATAMIENTO 4	0	4.5-5

### 3.4 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) bajo el diseño indicado utilizando el programa Statistical Analysis Systems (SAS).



### 3.5 Metodología experimental

Se mezclaron los sustratos de Peat Moss y Perlita a una relación de 70/30 (v/v), se humectó con agua de la llave de un pH de 8.06 para estabilizar el pH del sustrato, una vez que se humectó el sustrato, se comenzaron a llenar los contenedores con 15 L de la mezcla. Una vez que los contenedores fueron llenados se saturaron con el fin de hacer un lavado, un día antes del trasplante se realizó otro lavado con el fin de eliminar cualquier excedente de sales en el sustrato y estabilizar la CE.

Antes de hacer el trasplante se preparó el agua en contenedores de 200 L, utilizando 100 L de agua corriente y 100 L de agua desionizada, con el fin de reducir los Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y bajar los iones del agua para tener una CE de 0.6 dS m<sup>-1</sup>.

Para el trasplante se utilizaron plantas de frambuesa las cuales se encontraban en charolas de 72 cavidades, se procedió a tomar las plantas que tuvieran mejor crecimiento radicular, tallo recto y plantas vigorosas con altura aproximada de 15 cm de manera uniforme.

#### Prácticas culturales

**Deshoje:** Esta práctica consiste en que una vez que la planta tenga los primeros 50 cm de crecimiento se le quitan las hojas viejas de la parte inferior de la planta para poder evitar la proliferación de plagas y enfermedades, mejorar la ventilación, y poder aumentar los nutrientes para mayor desarrollo tanto de la parte aérea como la zona radicular.

Se realizaron 2 deshojes, el primero se realizó cuando la planta tenía aproximadamente 50 cm de altura y se quitaron las hojas que se encontraban en los primeros 30 cm de altura partiendo de la base del sustrato, el segundo deshoje conocido como el deshoje de sanidad se realizó cuando la planta iniciaba la floración se podaron los primeros 50 cm de altura partiendo de la base del sustrato.

**Tutorado:** Esta actividad es muy importante debido a que en este tipo de cultivo se necesita mantener los tallos erectos, para esto se colocaron cañas en forma de postes a lo largo de las camas dejando 8 plantas entre postes, se colocaron 5 líneas de rafia sujetos al poste de separación de 30 cm entre los hilos.

**Polinización:** Esta labor se llevó a cabo mediante vibración manual, moviendo de forma constante los hilos en los que se tutoraban las plantas para de esta forma se hiciera caer el polen y se fecundara la flor.

### Riego y nutrición

El riego es muy importante en este cultivo ya que es una determinante de rendimiento, el riego se suministró tomando en cuenta la etapa fenológica y condiciones climáticas, aplicándole de 1 a 3 L de riego por planta, regando todos los días de forma manual con una solución nutritiva (SN) completa y balanceada (Steiner, 1961) con un pH variado por tratamientos, una CE de 1.2 dS m<sup>-1</sup>. En todos los riegos se mantuvo un drenaje de 25% para evitar la acumulación de sales.

Tabla 6. Solución nutritiva a aplicar al cultivo de frambuesa.

Macroelementos en Meq L <sup>-1</sup>									
	Aniones					Cationes			
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
Objetivo	7.2	0.60	4.2	3	-	4.2	5.4	2.4	-
Microelementos mg L <sup>-1</sup>									
	Fe	B	Mn	Zn	Cu	Mo			
Objetivo	3	0.26	0.5	0.14	0.025	0.054			

### 3.6 Variables Evaluadas

**Altura de la planta (AP):** La altura de la planta se midió una vez terminada la cosecha, utilizando una cinta métrica de 8 metros marca Stanley, se tomaron las medidas desde la base de la planta hasta la parte del ápice, los resultados se expresaron en cm.

**Diámetro inferior del tallo (DIT):** Esta medida se realizó al finalizar la cosecha de la planta, utilizando un vernier milimétrico marca genérica, se midió a una altura de 10 centímetros de la base de sustrato, el resultado se expresó en mm.

**Longitud de la raíz (LR):** Esta variable se obtuvo al finalizar la cosecha, utilizando una cinta métrica de 8 metros marca Stanley, las medidas se tomaron dónde comienza la raíz hasta la última parte de la misma, sin tomar en cuenta la altura de hijuelos. Los resultados se expresaron en cm.

**Peso seco de la raíz (PSR):** Para llevar a cabo esta variable se introdujo la raíz en bolsas de papel estraza, las cuales se colocaron en horno de secado durante 76 horas a una temperatura de 76°, posteriormente se retiraron del horno y se pesaron en una báscula digital marca Queen Sense. El resultado se expresó en g.

**Volumen de la raíz (%) (VR):** Se colocó la raíz dentro de una probeta de 1 L donde previamente se habían agregado 200 ml de agua destilada, se consideró como VR el volumen de agua desplazado por la raíz, las medidas tomadas se expresaron en mL.

**Porcentaje de humedad de la raíz (PHR):** La variable se calculó en el programa Microsoft Excel con la siguiente formula:

$$PHR = \left[ \frac{Muestra\ fresca - Muestra\ seca}{Muestra\ seca} \right] * 100$$

**Peso seco de hojas (PSH):** Se introdujeron las hojas en bolsas de papel estraza, las cuales se colocaron en horno de secado durante 76 horas a una temperatura de 76°, posteriormente se retiraron del horno y se pesaron en una báscula digital marca Queen Sense. Los valores de la variable fueron expresados en g.

**Porcentaje de humedad de hojas (PHH):** En esta variable el resultado se obtuvo utilizando el programa Microsoft Excel en el cual se introdujo la siguiente formula:

$$PHR = \left[ \frac{Muestra\ fresca - Muestra\ seca}{Muestra\ fresca} \right] * 100$$

**Peso seco de tallo (PST):** Se introdujeron las partes del tallo en bolsas de papel estraza, las cuales se colocaron en horno de secado durante 76 horas a una temperatura de 76°, posteriormente se retiraron de horno y se pesaron en una báscula digital marca Queen Sense que cuenta con capacidad de 3 gramos a 10 Kg. El peso seco se expresó en g.

**Porcentaje de humedad de tallo (PHT):** Para la variable mencionada se obtuvo el resultado una vez que se acomodaron los datos en el programa Microsoft Excel en el cual se introdujo la siguiente formula:

$$PHR = \left[ \frac{Muestra\ fresca - Muestra\ seca}{Muestra\ seca} \right] * 100$$

**Peso Seco de Planta (PSP):**

**Rendimiento por planta:** Esta variable se midió pesando el total de los frutos de las cosechas, con ayuda de una báscula digital marca Queen Sense. La variable fue reportada fue en g.

**Peso promedio de fruto (PPF):** Esta variable fue obtenida pesando el total de frutos por cada cosecha, se pesaron en una báscula digital marca Queen, se contabilizaron los promedios de las cosechas y mediante el programa de Excel 2013 se obtuvo el promedio total reportada en g.

**Sólidos solubles totales (SST):** Para esta variable se usó un refractómetro manual marca genérica, de una escala de °Brix de 0-90%. Se tomaban datos de 2 muestras por repetición.

**Diámetro polar del fruto (DPF):** utilizando un vernier milimétrico marca genérica para obtener la medida de esta variable se midió el fruto, tomando la parte longitudinal de cada fruto durante la etapa de cosecha, la variable se expresó en cm.

**Diámetro ecuatorial del fruto (DEF):** Para obtener la medida de esta variable se midió tomando la parte transversal de cada fruto durante la etapa de cosecha, se midió en centímetros (cm) utilizando un vernier milimétrico marca genérica.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables AP, LR, y VR presentan diferencia altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) mientras que en la variable DIT se observó diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) (Tabla 7). La altura de la planta aumentó un 14.98 % en 1 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, en comparación con 2 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. El mayor diámetro se mostró en plantas tratadas con 1 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> a diferencia cuando se utilizaron 3, 2, 0 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. La longitud de la raíz se aumentó con 0 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, pero con 2 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> se disminuyó un 18.93%. Asimismo, el volumen de la raíz aumentó al ser tratadas con 3 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> pero disminuyó un 45.59% (Tabla 7). Relacionado a lo anterior, en un pH inadecuado se provocan estragos en procesos que son de vital importancia como estrés osmótico, deficiencia de nutrientes, división celular baja, disminución de fotosíntesis, entre otros procesos metabólicos. Aunado con lo dicho anteriormente, Abdel y Son (2016) demostraron que, en plantas de maíz bajo un estrés alcalino, que estas desvían la mayor parte de proteínas sintetizadas para el crecimiento para la osmorregulación como forma de supervivencia ante el estrés. Además, Serrano (2015) menciona que, el crecimiento se afecta por alteraciones en el metabolismo y división celular de tejidos jóvenes. El crecimiento se ve afectado por la absorción de elementos los cuales pueden alcanzar su nivel óptimo de absorción en función al pH de la solución nutritiva (Carvajal, 1963). Como lo afirma Lucena (2000), el principal factor visible del efecto que ocasionan los bicarbonatos en la planta es la clorosis intervenal, ocasionada por deficiencias y el retraso en el crecimiento de la planta. Por otra parte, entre mayor fotosíntesis se realice, habrá mayor producción de esqueletos carbonatados, los cuales son almacenados y utilizados por los tallos, que son a su vez un indicador de vigor, debido a que refleja la provisión de fotosintatos, los cuales son encargados de trastocar a los sitios de mayor demanda en la planta (Baca *et al.*, 2002). Parra *et al.* (2012) reportan reducción en el diámetro de un tallo de tomate al aumentar la concentración de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. En el presente experimento al utilizar 3 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, se produjo un antagonismo con la absorción de fósforo, al ser inhibido y transformado. Esto coincide con lo reportado por Molina (1999) quien menciona que

la disponibilidad del P se encuentra limitada por un pH alcalino formando fosfatos de calcio, que no son asimilables para la planta. Pissaloux *et al.* (1995) comprobaron que a medida que va aumentando la cantidad de  $\text{HCO}_3^-$  se va reduciendo la absorción del P en plantas de lupino (*Lupinus polyphyllus* L.). Rodríguez & Flores (2004) mencionan que, la disminución de fósforo produce una reducción en la expansión celular por lo cual disminuye el crecimiento de la planta. El volumen de la raíz presentó una variación en cuanto a la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  presente en el agua de riego. El volumen de la raíz aumenta a medida que aumentan los bicarbonatos en las soluciones nutritivas de 0.66 y 3.66 me  $\text{L}^{-1}$  pero con 6.66 me  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$  disminuyó un 57% de su volumen (Lozano, 2022). El deterioro de la actividad de raíces se provoca por el efecto inhibitor del  $\text{HCO}_3^-$  sobre los procesos metabólicos, obteniendo mayor sistema radicular pero poca actividad. (Murtić *et al.*, 2022).

**Tabla 7.** Efecto de la concentración de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) en variables de crecimiento del cultivo de frambuesa.

$\text{HCO}_3^-$	Altura de la planta (cm)	Diámetro Inferior del Tallo (mm)	Longitud de Raíz (cm)	Volumen de Raíz (mL)
3	155.50b	17.85ba	59.25b	300.00a
2	153.25b	17.02b	56.75b	163.25c
1	180.25a	19.07a	70.25a	237.50b
0	159.00b	18.37ba	74.00a	223.25b
ANVA $p \leq$	0.001	0.018	0.001	0.001
CV (%)	2.16	4.28	7.16	7.91

( $p \leq 0.01$ ), Altamente significativo; ( $p \leq 0.05$ ), Significativo; ( $> 0.05$ ) No Significativo; CV: Coeficiente de Variación; Letras a, b y c, categorías de la comparación de medias con Tukey al 0.5;  $\text{HCO}_3^-$ , Bicarbonatos.

En las variables PSR, PST, PSTo y PHR hay diferencia altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ). PHT presentó una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) mientras que las variables PSH y PHH no presentaron significancia ( $p > 0.05$ ) (Tabla 8). El peso seco de raíz muestra que al utilizar  $3 \text{ Meq L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$  aumenta el peso seco un 43.44% en comparación con  $1 \text{ Meq L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$ . Por otro lado, el mejor resultado del peso seco de las hojas se presentó con  $2 \text{ Meq L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$  disminuyendo un 0.67, 14.59 y 7.95%, si se utilizan 3, 1 y 0  $\text{Meq L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$  respectivamente. En el peso seco del tallo con  $1 \text{ Meq L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$  se detectó un incremento de 12.45% en comparación con 0  $\text{Meq L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$ . El mayor peso seco total se presentó con una concentración de  $3 \text{ Meq L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$ , pues con 1 y 0  $\text{Meq L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$  se presentaron menores resultados. El porcentaje de humedad en la raíz incrementó con  $1 \text{ Meq L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$ , pero disminuyó un 14.92% con  $3 \text{ Meq L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$ . El menor porcentaje de humedad en las hojas se presentó con  $3 \text{ Meq L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$ , aumentando un 8.15% con  $1 \text{ Meq L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$ . Asimismo, el porcentaje de humedad del tallo incrementó un 16% al utilizar 0  $\text{Meq L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$  en comparación con el menor resultado que fue el de  $3 \text{ Meq L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$  (Tabla 8). En el presente estudio se demostró que la concentración de los  $\text{HCO}_3^-$  presentes en el agua de riego afectan el contenido tanto de humedad como la materia seca de la planta, teniendo como resultado un aumento de la materia seca con el aumento de los  $\text{HCO}_3^-$  pero disminuye la cantidad de agua de la planta, lo cual se asocia a un factor de estrés producido por la mala absorción de agua, la cual al no ser bien absorbida acumula sus reservas en el tallo, probando un déficit del contenido de agua en el sistema radicular y en el vigor de la planta. Con lo anteriormente descrito Lozano (2022) demostró que entre mayor aumento de  $\text{HCO}_3^-$  existe disminución la humedad en la planta, esto comprueba que cuando el peso fresco de raíz se incrementó con  $0.66 \text{ Meq L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$  pero con  $6.66 \text{ me L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$  se redujo hasta un 56% del peso de las raíces. Altas concentraciones de  $\text{HCO}_3^-$  causaron peso seco de hojas más alto (Roosta, 2014). La materia seca de las plantas aumenta conforme aumentan los  $\text{HCO}_3^-$  debido a que disminuye la cantidad de agua de la planta y la mayor parte de la biomasa carece de humedad. El contenido de agua en brotes de plántulas de *M. ruthenica* se afectó por la salinidad y la alcalinidad, pero la



alcalinidad presentó mayores estragos, siendo el factor con el cual se presentó mayor disminución en el contenido de agua de brotes (Yang *et al.*, 2011). Augšpole *et al.* (2021) mencionan que, la reducción en el contenido de agua aumentó más con el estrés alcalino que con el estrés salino en algunas especies diferentes cuando fueron inducidos por separado. Mostrado lo anterior se observa una disminución del contenido de humedad en la planta, por el estrés provocado por la alcalinidad, requiriendo un gasto adicional de energía y aceleración de procesos metabólicos provocando un desbalance en la fisiología de la planta, lo cual concuerda con lo expuesto por Yang *et al.* (2011) que justifica la pérdida del contenido de agua de los brotes por una alta alcalinidad, la cual no solo provoca un fuerte estrés osmótico, sino que también provoca un efecto destructivo del alto pH sobre la funcionalidad del sistema radicular y la absorción de agua.

**Tabla 8.** Comparación de medias de variables de biomasa evaluadas, por efecto del pH y la disponibilidad de nutrientes en cultivo de frambuesa.

HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PSR	PSH	PST	PSP	PHR	PHH	PHT
	-----	----- g	-----	-----	-----	-----%	-----
3	107.45 <sup>a</sup>	131.70a	84.15b	336.48a	77.70ba	55.15a	40.77b
2	83.65b	132.60a	87.48b	310.10a	71.57b	58.20a	54.45ba
1	60.77c	113.25a	96.12a	270.15b	84.12a	60.05a	47.30ba
0	61.60c	122.05a	94.52a	278.18b	81.00a	58.40a	48.57a
ANOVA	0.001	0.50	0.001	0.001	0.011	0.19	0.02
CV (%)	9.52	16.03	2.99	4.95	4.25	5.16	7.07

Altamente significativo ( $p \leq 0.01$ ); Significativa ( $p \leq 0.05$ ); No Significativo ( $p > 0.05$ ); ANVA, Análisis de varianza; CV, Coeficiente de variación; Letras a, b y c, Categorías de la comparación de medias con Tukey al 0.5; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Bicarbonatos; PSR, Peso Seco de Raíz; PSH, Peso Seco de Hojas; PST, Peso Seco del Tallo; PSP, Peso Seco de Planta, PHR, Porcentaje de Humedad en Raíz; PHH, Porcentaje de Humedad Hojas; PHT, Porcentaje de Humedad del Tallo.

En las variables PF, DE, RP y SS se presenta diferencia altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) mientras que la variable DP no presentó significancia ( $p > 0.05$ ) (Tabla). En el Peso del Fruto se presentó un incremento un 19.76% cuando fue tratada con 1

Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> en comparación con 3 Meq L de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. El mejor Diámetro Polar fue el que se obtuvo con el tratamiento con 1 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, disminuyendo un 0.32, 3.02 y 6.36% al utilizar 2, 0 y 3 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> respectivamente. Por otro lado, el menor Diámetro Ecuatorial se presentó en 3 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, pero si se utilizan 2 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> aumenta un 5.74. En cuanto al DE, el máximo valor se presentó a concentración de 2 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, siendo superior que a una concentración de 3 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, un 5.74%.

El Rendimiento por planta mostró que al utilizar 3, 0 y 2 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, disminuye un 38.16, 17 y 0.99% respectivamente, comparado con 1 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Los sólidos solubles totales aumentaron con 1 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, disminuyendo un 22.97 con 3 Meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Cuadro 9). En el presente estudio el rendimiento por planta limita muchos otros factores ya que cuando comienza la etapa de post-floración la mayor parte de energía de la planta es dirigida a los racimos productivos y al no presentarse las condiciones adecuadas el gasto de energía es mayor, lo que provoca complicaciones a la hora de la producción. El rendimiento se limita en presencia de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, debido a las deficiencias de los nutrientes ya que al no controlarse el problema pueden presentarse pérdidas de hasta un 50% en el rendimiento del cultivo (Lozano, 2022).

La alcalinidad provoca una limitación en el crecimiento celular y división celular, lo que provoca una serie de trastornos metabólicos, daños nutricionales y desequilibrio iónico (Serrano, 2015). Uno de los factores de gran importancia para el tamaño y peso de los frutos es el desbalance nutricional que afecta directamente la calidad de la producción, en esta condición, entre los factores más afectados es el contenido de la clorofila, la cual es un parámetro muy importante, ya que es responsable de que se lleve adecuadamente la fotosíntesis, la disminución del contenido de clorofila es un factor muy importante, afectando directamente a la calidad de los frutos, en cuanto al diámetro, sólidos solubles y calidad nutracéutica. La alcalinidad provoca grandes daños fisiológicos en las plantas (Yang *et al.*, 2011). Abdel y Son (2016) demuestran que la disminución en el contenido de clorofila bajo un estrés salino se debe a la precipitación del magnesio que es el encargado de la pigmentación, al

estrés oxidativo el cual provoca una serie de lesiones en las estructuras de los cloroplastos y el aumento de la actividad de la enzima clorofilasa que es la que degrada la clorofila. Mengel y Kirkby (2000) mencionan que la insolubilidad del hierro provoca una disminución en la producción de clorofilas y otros procesos importantes para la fotosíntesis. Legaz *et al.* (1995) demuestra que la baja disponibilidad del hierro provoca una disminución en los sólidos solubles totales. La disminución de los contenidos de azúcar soluble y clorofila provocados por un estrés alcalino produce una reducción relevante de la absorción de luz por las hojas (Abdel y Son, 2016).

**Tabla 9.** Comparación de medias de variables de calidad de fruto de frambuesa por efecto de modificación en el pH de la solución nutritiva.

HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq L <sup>-1</sup> )	Peso de fruto (g)	Diámetro polar del fruto (mm)	Diámetro ecuatorial del fruto (mm)	Rendimiento por planta (g)	Sólidos solubles totales (°Brix)
3	3.45b	20.15a	21.32b	625.14c	9.05b
2	4.27a	21.45a	22.62a	1000.94a	9.75b
1	4.30a	21.52a	21.90ba	1010.95a	11.75 <sup>a</sup>
0	3.72b	20.87a	21.62b	839.00b	9.45b
ANVA p≤	0.08	0.06	0.002	0.001	0.001
CV %	6.29	3.33	1.65	2.28	3.46

(p≤0.01), Altamente Significativo; (p≤0.05), Significativa; (p>0.05) No Significativo; ANVA, Análisis de Varianza; CV, Coeficiente de Variación; Letras a, b y c, Categorías de la comparación de medias con Tukey al 0.5.

## V. CONCLUSIÓN

Las concentraciones de bicarbonato en la solución nutritiva influyen significativamente en el crecimiento, rendimiento y calidad del fruto de frambuesa.

Con 1 meq L<sup>-1</sup> de bicarbonato en la solución nutritiva aumentó la altura de las plantas, mientras que, con 2 y 3 meq L<sup>-1</sup> de bicarbonato se obtuvo mayor acumulación de biomasa seca. El mayor rendimiento se obtuvo en plantas irrigadas con soluciones que contenían 1 y 2 meq L<sup>-1</sup> de bicarbonato.

Los hallazgos sugieren que una concentración óptima de bicarbonato en la solución nutritiva promueve el crecimiento y rendimiento de las plantas de frambuesa.

## vi. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Carvajal, J. F.; López, C. A.; & Acevedo, A. (1963). Efecto del pH del sustrato en el crecimiento y la absorción del café. Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 11(2), 141–155 pp.
2. Heredia O. S. El agua de riego: criterios de interpretación. Efectos sobre el suelo y la producción. En *Agua subterránea: explotación y su utilización agropecuaria*. EFA, FAUBA, 75-99 pp.
3. Torres, A. P.; Lopez, R. G., Mickelbart, M. V.; & Paisan, C. (2010). Manejo de la alcalinidad en sustratos hidropónicos. Producción Comercial de Cultivos Bajo Invernadero Y Viveros. Departamento de Horticultura y Arquitectura de Áreas Verdes, E.E.U.U., Purdue University.
4. Robres-Torres, E.; López-Medina, J.; & Rocha-Granados, M. C. (2015). La elongación de brotes adventicios de frambuesa (*Rubus idaeus* L.) es influenciada por brasinosteroides. México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(5), 991-999 pp.
5. Pantić, N.; Cvijanović, D.; Imamović, N. (2021). Economic analysis of the factors influencing the supply and demand of raspberry. *Ekonomika Poljoprivrede*, 68(4), 1077-1087 pp.
6. García, J. C.; García, G.; & Ciordia, M. (2014). *El cultivo del frambueso*. (García, M.P. Ed.) España. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA)
7. Rodríguez, M.; Flores, V. (2004). Elementos esenciales y beneficiosos. CYTED. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. 25-36 pp.
8. Estudillo, J. A. R. (2006). El uso de los ácidos en la fertirrigación. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila, México.
9. Hernández Cerna, G. C. (2022). Cambios bioquímicos y fisiológicos que afectan la firmeza de frambuesa (*Rubus idaeus*) durante el almacenamiento en atmósferas controlada. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, Querétaro, México.
10. Abdel Latef AA and Tran L-SP (2016) Impacts of Priming with Silicon on the Growth and Tolerance of Maize Plants to Alkaline Stress. *Frontiers in Plant Science*. 7(243). Bangladesh.
11. Morales Alcayaga, C. G. (2009). Frambueso (*Rubus idaeus* L), Morfología y clasificación. *Informativo Inia Raihuen*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chile.
12. Tejada, E. S. (2015). Efecto del Calcio y Potasio en las Respuestas al Estrés por Boro, Alcalinidad y Salinidad en el Crecimiento Vegetativo del Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en Cultivo Hidropónico. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

13. Pérez, Y. M. D. (2020). Crecimiento y Rendimiento del Cultivo de Frambuesa (*Rubus idaeus* L.) a la Aplicación de Estimulantes. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
14. Lozano, A. M. (2022). Efecto De La Alcalinidad De La Solución Nutritiva En El Crecimiento De La Lechuga (*Lactuca sativa* L.) Bajo Invernadero. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
15. Coello, B. S., & Mesa, D. R. (2016). Cálculo de Soluciones Nutritivas. En suelo y sin suelo (1a ed.). Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural. Cabildo Insular de Tenerife. Gráficas Sabater S.L
16. Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2000). Principios de nutrición vegetal (R. J. Melgar & M. Ruiz, Trads.; 4a ed.). Sandrine Randon, IPI, Basel, Suiza.
17. Morales, C. G. M.; Pedreros, A. L.; Riquelme, J. S.; Uribe, H. C.; Hirzel, J. C.; Abarca, P. R.; & France, A. I. (2017). Manual de manejo agronómico del Frambueso (G. M. A. Carmen, Ed.). Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. Santiago de Chile.
18. Jiménez, M. A. M. (2009). Evaluación de forclorofenurón y amilasa como inductores de brotación sobre el cultivo de frambuesa (*Rubus idaeus* L.). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
19. Rocha, M. F. R. (2019). Respuesta de la Aplicación de Bioestimulantes en el Cultivo de Frambuesa (*Rubus idaeus* L.). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
20. Pérez, F. R. (2019). Respuesta de la Calidad de la Frambuesa con la Adición de Seis Compuestos Minerales. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
21. Martínez, P. J.; Martínez-Lagos, J. (2022) Aspectos básicos para la producción de frambuesa. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Informativo Inia Remehue N° 183.
22. Ortega, P. V. C. (2015) Análisis del estado del arte en nutrición y riego bajo sistema de manejo orgánico en frambueso. Universidad de Chile. Santiago de Chile.
23. Augšpole, I.; Romanova, I.; & Linina, A. (2021). Characterization of red raspberry (*Rubus idaeus* L.) for their physicochemical and morphological properties. Fundamental research activities in Latvia University of Life Sciences and Technologies. Agronomy Research 19(S3), 1227-1233 pp.
24. Murtić, S.; Fazlić, J.; Šerbo, A.; Valjevac, M.; Muharemović, I.; Topčić, F. (2022) Yield and fruit quality of 'Meeker' raspberry from conventional and organic cultivation systems, Faculty of Agronomy Čačak. University of Kragujevac. Serbia.
25. Pérez Ramírez, F. (2018). *Respuesta de la calidad de la frambuesa con la adición de seis compuestos*. División de Ingeniería. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Saltillo, Coahuila, México.

26. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2021). *Crecen a doble dígito producción y exportación de frambuesas mexicanas*. Comunicado No. 373. Ciudad de México.
27. Sánchez García, P. (2021). *Programa de capacitación: cómo interpretar análisis de suelo*. NASA AGRO ORGANICS. <https://www.youtube.com/watch?v=LaLC5LeYYjk>
28. Raney, M. (2017) *Raspberry: fact sheet*. Wisconsin Department of Public Instruction. United States Department of Agriculture (USDA).
29. EnCicloVida. (2014). Frambuesa [Mapa]. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). <https://enciclovida.mx/especies/166887>
30. Parra Quezada, R. A.; Ramírez Legarreta, M. R.; Jacobo Cuellar, J. L. & Arreola Ávila, J. G. (2008) "Fenología de la frambuesa roja 'Autumn Bliss'". Ciudad Guerrero, Chihuahua, México. *Revista Chapingo*. Serie: Horticultura [online]. Vol.14. N°1, p.p. 91-96.
31. Rao, A. V., & Snyder, D. M. (2010). Raspberries and human health: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58(7), 3871–3883.
32. FAOSTAT. (2021). *Cultivos y Productos de Ganadería*. Dominio: Producción. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
33. Sigler, W. A.; & Bauder, J. (2012) Alcalinidad, pH y sólidos disueltos totales. Universidad Estatal de Montana Programa de Extensión en Calidad del Agua. Departamento de Recursos de la Tierra y Ciencias Ambientales.
34. Barbaro, L. A.; Karlanian, M. A.; & Mata, D. A. (2014). *Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos de las plantas*. INTA – Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Madrid, España. pp. 11.
35. Bailey, R. G.; Ames, J. M.; & Monti, S. M. (1996) "An Analysis of the Non-Volatile Reaction Products of Aqueous Maillard Model Systems at pH 5, using Reversed-Phase HPLC with Diode-Array Detection". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 72(1), p.p. 97-103.
36. Parra Terraza, S.; Lara Murrieta, P.; Villarreal Romero, M.; & Hernández Verdugo, S. (2012). "Crecimiento de plantas y rendimiento de tomate en diversas relaciones nitrato/amonio y concentraciones de bicarbonato". *Revista fitotecnica mexicana*, 35(2), p.p. 143-153.
37. Preciado Rangel, P.; Baca Castillo, G. A.; Tirado Torres, J. L.; Kohashi Shibata, J.; Tijerina Chavez, L.; & Martínez Garza, A. (2002). "Nitrógeno y potasio en la producción de plántulas de melón". *Terra Latinoamericana*, 20(3), pp. 267-276. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
38. Pissaloux A.; Morard, P.; Bertoni, G.; & Abadia, J (ed). (1995) "Alkalinity-bicarbonate-calcium effects on iron chlorosis in white lupine in soilless culture". *Iron Nutrition in Soils and Plants*. Kluwer Academic Publishers, New York, USA. p.p. 127-133.

39. Salgado Rodríguez, H. (2015). *Comportamiento del Lisianthus (Eustoma grandiflorum) cultivado en variable nivel de alcalinidad y contenido de calcio en hidroponía*. División de Agronomía. Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”.
40. Lucena, J. J. (2000) “Effects of bicarbonate, nitrate and other environmental factors on iron deficiency chlorosis.” *Journal of Plant Nutrition*, 23, p.p. 11-12.
41. Legaz, F.; Serna, M.D.; & Primo Millo, E. (1995). *La deficiencia de hierro en los cítricos*. Hojas Divulgativas. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Servicio de Transferencia de Investigación y Tecnología Agraria. Conselleria d’Agricultura, Pesca i Alimentació. Generalitat Valenciana.
42. Rosta, H. R. (2014). “Effect of Ammonium: Nitrate Ratios in the Response of Strawberry to Alkalinity in Hydroponics”. *Journal of Plant Nutrition*, 37, p.p. 1676-1689.
43. Yang, J. Y.; Zheng, W.; Tian, Y.; & Zhou, D. W. “Effects of various mixed salt-alkaline stresses on growth, photosynthesis, and photosynthetic pigment concentrations of *Medicago ruthenica* seedlings”. *Photosynthetica*, 49, p.p. 275–284.
44. Espinosa, J.; & Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos (Soil acidity and liming)*. Primera edición. International Plant Nutrition Institute.
45. Rodríguez García, J. P.; & Vega Triana, J. A. (2022). Dinámica temporal de la calidad del agua para fertirriego empleada en cultivos de clavel, efectos sobre la calidad de la solución nutritiva. Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería. Universidad de Bogotá “Jorge Tadeo Lozano”. Chía, Colombia.
46. Lee Rodríguez, V.; Beltrán Fonseca, M. J.; Lerma Molina, J. N.; & Licón Trillo, L. P. (1998) “Aplicación de ácido sulfúrico en el riego corrige la clorosis férrica de los cultivos en suelos calcáreos”, *Terra Latinoamericana*, 16(2), pp. 149-161. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.