



Cuernavaca, Morelos, 9 de septiembre de 2020.

**Asunto:** Voto Aprobación de Tesis.

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

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **"RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA FRESA EN RESPUESTA A DIFERENTES SUSTRATOS Y NUTRICIÓN INORGÁNICA"** que presenta: **M.C. GABRIELA MIXQUITITLA CASBIS**, mismo que fue desarrollado bajo mi dirección y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

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

Atentamente  
*Por una humanidad culta*  
*Una universidad de excelencia*

**DR. OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES**  
**Comité Evaluador**

C.I.p. Archivo

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

**UA  
EM**



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

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

**Sello electrónico**

OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES | Fecha:2020-09-15 15:15:11 | Firmante  
hgBRKfWwVGLCbpa6U374AYRvJvxd5aq9C379UrvPdPkwfthHUmU0+QJMHU+3eD0N5X05U+D+PlJq6tY9Cw6tHchcK25ogjSaFNWIKUv0PC7VZY0Bx43KwcmkEkbO  
QZLUzq7H866uURaemN589muaQ09kzYJF4Hkqj6LUZxAT7x8AEX38F4w8pOGYrRyu2Pzq8R7YQ9efko7e7k0cuUm0vPHez9dYMSJc6T06uCO16eMU3C0Tzmc37h0C7eK  
090r06y4ZQLawA6TnFmE5L+3GvCaCpGqmOmH8v60006pAaF27Yh00aj7b6K3Y3590Wye

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



x235M

<https://firma.uaem.mx/nc/RepudicikJ06XZ6hOMqz2dvRSTR6ip15Hs0k>





Universidad Autónoma del  
Estado de Morelos



FACULTAD DE  
CIENCIAS AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
JEFATURA DE PROGRAMAS EDUCATIVOS DE POSGRADO

Cuernavaca, Morelos, 9 de septiembre de 2020.

**Asunto:** Voto Aprobación de Tesis.

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

Por medio del presente comunico a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **"RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA FRESA EN RESPUESTA A DIFERENTES SUSTRATOS Y NUTRICIÓN INORGÁNICA"** que presenta: **M.C. GABRIELA MIXQUITLA CASBIS**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

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

*Atentamente*  
*Por una humanidad culta*  
*Una universidad de excelencia*

**DR. HÉCTOR SOTELO NAVA**  
**Comité Evaluador**

C.I.p. Archivo

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



*Una universidad de excelencia*

RECTORIA  
2017-2023



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

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

**Sello electrónico**

HECTOR SOTELO NAVA | Fecha: 2020-08-08 18:58:55 | Firmante

sEoFTFe0YxOgSQRkAUS+prTnRiuPygoybyqjHR4T75HmuYyTJanS DAPCoDYHvGZJzqjS0ENv8rjHhRtT4YR7YK2yTLUHTpoBdKQX8hivGC3IO4wNy3paC20h+JcyHD6YDgbc  
mG8XUv3751+wtpr8yDFkhdRdDpAKu4D6.2vgL+HhSPOCf6RZzpioFZuefCT6N5WbyG1H7N0W/YuCGJuzACUNHlUpX20XALMvQRNgNIUNvOxZ55xJDI8hTPUZCk+nt3AqT  
GaldDYFLz3UvWZxakYh+pbZ5ZmvoJM8cmSGdR6Qle8gcbAAq3xhYTZM1Hw82LpeP4PvWqjngC\*\*

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



rw2HidF

<https://efirma.uaem.mx/hoRepublica/poX7GvPXn8jgdYanVMWbc3ZmooovXMI/>





Universidad Autónoma del  
Estado de Morelos



Facultad de Ciencias  
Agropecuarias

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
JEFATURA DE PROGRAMAS EDUCATIVOS DE POSGRADO

Cuernavaca, Morelos, 9 de septiembre de 2020.

**Asunto:** Voto Aprobación de Tesis.

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

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **"RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA FRESA EN RESPUESTA A DIFERENTES SUSTRATOS Y NUTRICIÓN INORGÁNICA"** que presenta: **M.C. GABRIELA MIXQUITTLA CASBIS**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

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

*Atentamente*  
*Por una humanidad culta*  
*Una universidad de excelencia*

**DRA. MARÍA ANDRADE RODRÍGUEZ**  
**Comité Evaluador**

C.I.p. Archivo

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



*Una universidad de excelencia*

RECTORÍA  
2017-2021



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

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

**Sello electrónico**

MARIA ANDRADE RODRIGUEZ | Fecha:2020-09-21 10:44:20 | Firmante  
WbaTqB4NR5dqVWQAZv1f733eF7vK3DmSUbLE53ZQe7DyUj4N2N98Nuv6gHUrQPcUJ8eWUJLgP4kUraZ1H301DaeLudke2Z56LzPD6epvHCO1f7qbaTV8F8CJd6eH08LU7  
7LnYv4uzE4RgX75qjU0814xkdd6Pc087C+37toZ2R1rAbQvW7eW7bCJUGYFohmR1R0ep7Q4v1NCzsaOCUSIDPv6gk9hC3manag42s6b6tja3DcuYAvUvD63ZLqB8dWU  
harucNv0YZY6q758TJ0JL4r7u1DZ2denG68aDyh8amRXJLW8aaQeKCGe16+peTA\*\*

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



hd9fN

<https://firma.uaem.mx/hojapublico/gUR8Ph48zU4g58nmz2e1rLqLc0a9>





Cuernavaca, Morelos, 9 de septiembre de 2020.

**Asunto:** Voto Aprobación de Tesis.

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

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **"RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA FRESA EN RESPUESTA A DIFERENTES SUSTRATOS Y NUTRICIÓN INORGÁNICA"** que presenta: **M.C. GABRIELA MIXQUITITLA CASBIS**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

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

Atentamente  
*Por una humanidad culta*  
*Una universidad de excelencia*

**DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ**  
**Comité Evaluador**

C.I.p. Archivo

Av. universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209  
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 3304. [fagropecuarias@uam.mx](mailto:fagropecuarias@uam.mx)

**UA  
EM**

*Una universidad de excelencia*

RECTORIA  
2017-2021



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

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

**Sello electrónico**

PORFIRIO JUAREZ LOPEZ | Fecha: 2020-09-16 09:53:44 | Firmante  
MeRMCK8eTbnAAHPgyvheMGTmJ1MPCIOwYQcQ8+yA8pezwdOek05RU7p4m45P5epJ8h5ORk+KZ7D3Fq+89VHqaL8Y9WRCE2XgPOMek00WqDmGODL912881Gxgd8HF8  
35dTCx0N+HuUxa908nY1UNgg8yppNUsOapYw8bu8K0ZPcEpkPAG28Q1kaPZ+KMUM4GUD1dC08eE/Matg1pKTU7qDAEmkazuJAKT3p7F8F3Hq5YVLUYE08qC0z0v0Gxnl  
P8Rn7ZD9G8wloq+SuY8p8i054UHdRZX4W8bn38RUb0G7Pv8Mh3IT4#Czgy78+00UcOmE8RUUC\*\*

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



8800K

<http://ufirma.uaem.mx/Repositorio/Okal8C0c0CTpYX8GNVIRP0GAH8eyoCZ>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS  
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
JEFATURA DE PROGRAMAS EDUCATIVOS DE POSGRADO

Cuernavaca, Morelos, 9 de septiembre de 2020.

**Asunto:** Voto Aprobación de Tesis.

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

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **"RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA FRESA EN RESPUESTA A DIFERENTES SUSTRATOS Y NUTRICIÓN INORGÁNICA"** que presenta: **M.C. GABRIELA MIXQUITITLA CASBIS**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

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

*Atentamente*  
*Por una humanidad culta*  
*Una universidad de excelencia*

**DR. EDGAR MARTÍNEZ FERNÁNDEZ**  
**Comité Evaluador**

C.i.p. Archivo

Av. universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209  
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 3304. [lagropecuarias@uam.mx](mailto:lagropecuarias@uam.mx)



*Una universidad de excelencia*

RECTORÍA  
2017-2023



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

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

**Sello electrónico**

EDGAR MARTINEZ FERNANDEZ | Fecha:2020-09-23 12:07:48 | Firmante  
WbhYxQzrky711uvbpbakUeM1QzUxO1IEoeIQBTECGT3K07BySN5naL5katzCDygvPBA256vSiORHFF3bgzraMa12EUI3fecoZB+G/nwPYQOMKUHwN5yydMdp5XL6v  
YE5Ingl78kZekGWuMjHYEIn3caMv5a1aLCozapas7X1BYA4e04UN94k5nyP6KDDH+U8qLQeexQzEa+5iy+T1Rcu7bXm257PvpakEIDkRWh1odPaCukTRPao+eLpYDpF  
OMoUJFny1gOxwEoOxO00R9OwAJQDGmU8EwX7YeLx6v8coo8jH1RoOG5UdCCCA\*\*

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



[lpnLEt](#)

<https://efirma.uaem.mx/hoRepuoic/1D7bv52M6wCPeMKP81HqUgLn>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS  
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
JEFATURA DE PROGRAMAS EDUCATIVOS DE POSGRADO

Cuernavaca, Morelos, 9 de septiembre de 2020.

**Asunto:** Voto Aprobación de Tesis.

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

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **"RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA FRESA EN RESPUESTA A DIFERENTES SUSTRATOS Y NUTRICIÓN INORGÁNICA"** que presenta: **M.C. GABRIELA MIXQUITITLA CASBIS**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

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

Atentamente  
*Por una humanidad culta*  
*Una universidad de excelencia*

**DR. MANUEL DE JESÚS SAINZ AISPURO**  
**Comité Evaluador**

C.i.p. Archivo

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



*Una universidad de excelencia*

RECTORÍA  
2017-2023



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

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

**Sello electrónico**

MANUEL DE JESUS SANZ AISPURO | Fecha:2020-09-09 22:01:46 | Firmante:  
tqgPQauqBdR7JvR8DwKLN5UjNjNodbrvaipPFZd6R6jCrNylakjTYTErFyaoP4gytN5Kv6RQZddDauUj1+CLJhwCMVUw7Dw0iOclH0IP6eYINDRQxK0gU7096WACZ08p7vCr9C4MBFVUjcm+HnbfvRypmZBchED9mGUGA/ta8zy7C0XJ8hpgDaUwqYkqz92ezozocKDYXHLz8uJwjoHREp/btg04byQepO8u6vFuS8nhC2p7gr5cg8AYUZI8apGvL8XhpH05zS7kGxkgGZv8DCVbYy6UyVvX7eRqjHhbaalBNS7yIAfuCvHdNQZ3e4H5HA\*\*

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



HDPw6r

<http://sirma.uaem.mx/nc/RepudicbOU8pgf9FP0j0nnpuyU0M8teyGQJl>





Cuernavaca, Morelos, 9 de septiembre de 2020.

**Asunto:** Voto Aprobación de Tesis.

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

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **"RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA FRESA EN RESPUESTA A DIFERENTES SUSTRATOS Y NUTRICIÓN INORGÁNICA"** que presenta: **M.C. GABRIELA MIXQUITLA CASBIS**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

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

Atentamente  
*Por una humanidad culta*  
*Una universidad de excelencia*

**DR. ALEXANDRE TOSHIRRICO CARDOSO TAKETA**  
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av. universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209  
Tel (777)3257046, 3257000 Ext. 3304. [fagropecuarias@uaem.mx](mailto:fagropecuarias@uaem.mx)





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

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

**Sello electrónico**

ALEXANDRE TOSHERRICO CARDOSO TARETA | Fecha:2020-09-08 16:42:09 | Firmante

ESSEEVVwFMDck0HUVWdykgDCugoM5j+U50au+8589VhVX08ppMyVW35JT1eJclqgZT0P8De3YdLqPMAVUieComOIA/mrd5gCTy6pLxobaco8+gnbDleokuOIF6/LC2jvT0xVf/Au2NSYyplmEg8WGuUTUJopasbG8hNvHbTMRnAZkoN3n6mCu2eyZDR+ NagFofRcIMHIG80mCBX0raNcHcGee9GjUKRCVemhc8C0ay7j9eNcUxwFtaTR02NArAhqIewAYM  
srpCgH1NRDe2pighPvCQYEV5MjehCV53TRelqjrnLZIMn0bMCO7wS+08PUjgMeev

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



[m0102u](http://m0102u)

<http://efirma.uaem.mx/hoRepuoio4bWAb7DhLGE90hY0uE5TdvoqC8HqHj>



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS**

---



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA FRESA EN  
RESPUESTA A DIFERENTES SUSTRATOS Y  
NUTRICIÓN INORGÁNICA**

**T E S I S**

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

P R E S E N T A:

**GABRIELA MIXQUITITLA CASBIS**

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES



FACULTAD DE CIENCIAS  
AGROPECUARIAS

**Cuernavaca, Morelos; noviembre de 2020**

**RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA FRESA EN RESPUESTA A DIFERENTES  
SUSTRATOS Y NUTRICIÓN INORGÁNICA**

Tesis realizada por **Gabriela Mixquitla Casbis** bajo la dirección y comité revisor indicado,  
aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**

**COMITÉ REVISOR**

Director: \_\_\_\_\_

Dr. Oscar Gabriel Villegas Torres

Revisor: \_\_\_\_\_

Dr. Héctor Sotelo Nava

Revisor: \_\_\_\_\_

Dra. María Andrade Rodríguez

Revisor: \_\_\_\_\_

Dr. Porfirio Juárez López

Revisor: \_\_\_\_\_

Dr. Edgar Martínez Fernández

Revisor: \_\_\_\_\_

Dr. Manuel de Jesús Sainz Aispuro

Revisor: \_\_\_\_\_

Dr. Alexandre Toshirrico Cardoso Taketa

Cuernavaca, Morelos, noviembre de 2020

## DEDICATORIA

Para la muñeca más hermosa que me dio la vida mi *Regina*...te amo, tú mi caos, tú mi felicidad, tú la mejor maestra.

*Santiago Modesto* el hombre perfecto...te amo Tito, llegaste a mi vida para hacerme doblemente feliz, eres tan pequeño y tan hermoso.

*Miguelito*...gracias infinitas...por tu amor...este trabajo es nuestro.

A mis padres *Luis* y *Esther* por cuidarme y socorrerme como si aún fuera su niña.

A mis hermanos *Ely* y *Luis* por estar siempre para mí.

*El amor es paciente y bondadoso.*

*El amor no es celoso, no presume, no es arrogante,  
no se porta de forma indecente, no busca sus propios intereses,  
no se irrita con facilidad, no lleva cuenta del daño.  
no se alegra por la injusticia, sino que se alegra con la verdad.  
Todo lo soporta, todo lo cree, todo lo espera, todo lo aguanta.*

*Pero, sobre todo*

***EL AMOR NUNCA FALLA***

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a Jehová Dios por permitirme vivir un día más y tener el apoyo de las personas que más me aman para poder concluir este proyecto.

A ti Miguelito por tu apoyo incondicional, sino fuera por eso me hubiera quedado a medias.

Dr. Oscar Gabriel Villegas Torres por permitirme caminar y crecer profesionalmente de su mano, me llevo mucho de usted, uno de los mejores maestros que ha cruzado mi camino.

Dr. Héctor Sotelo Nava, Dr. Martín Gerardo Martínez Rangel y Dr. Alexandre Toshirrico Cardoso Taketa por su gran disposición e interés para llevar a cabo esta investigación.

A los doctores que me apoyaron y revisaron mi trabajo, gracias por su valioso tiempo y conocimiento.

Al CONACYT por el estímulo brindado para cursar este doctorado.

Y por último a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y a la Universidad Autónoma del Estado de Morelos por ser mi segunda casa, soy venado de corazón.

## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	IV
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	VI
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL.....</b>	1
<b>CAPÍTULO 1. IMPORTANCIA DE LA FRESA (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) Y LOS RETOS EN SU PRODUCCIÓN.....</b>	2
1.1 Breve historia de la especie.....	2
1.2 Características morfológicas de la planta.....	3
1.3 Importancia socioeconómica.....	6
1.4 Variedades de fresa cultivadas en México.....	6
1.5 Aporte nutricional de la fresa en la dieta humana.....	8
1.6 Producción de fresa en diferentes sistemas.....	12
1.7 Sustratos como soporte de la planta en un sistema sin suelo.....	14
1.8 Nutrición inorgánica en un sistema sin suelo.....	18
1.9 La nutrición y las enfermedades.....	20
1.10 LITERATURA CITADA	22
<b>CAPÍTULO 2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUSTRATOS EN FUNCIÓN DE SU GRANULOMETRÍA Y COMPONENTE ÓRGANO-MINERAL.....</b>	29
2.1 RESUMEN.....	29
2.2 ABSTRACT.....	30
2.3 INTRODUCCIÓN.....	31
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
2.4.1 Ubicación del experimento.....	33
2.4.2 Manejo del experimento.....	33
2.4.3 Análisis estadístico.....	36
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
2.6 CONCLUSIONES.....	45

2.7	LITERATURA CITADA.....	46
<b>CAPÍTULO 3. CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRESA (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch) POR EFECTO DEL RÉGIMEN NUTRIMENTAL.....</b>		
3.1	RESUMEN.....	49
3.2	ABSTRACT.....	50
3.3	INTRODUCCIÓN.....	51
3.4	MATERIALES Y MÉTODOS.....	54
3.4.1	Ubicación de los experimentos.....	54
3.4.2	Material vegetal.....	54
3.4.3	Diseño experimental.....	54
3.4.4	Manejo del experimento.....	56
3.4.5	Variables de respuesta.....	57
3.4.6	Análisis estadístico.....	57
3.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
3.6	CONCLUSIONES.....	65
3.7	LITERATURA CITADA.....	66
<b>CAPÍTULO 4. CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRESA EN SUSTRATOS GENERADOS CON ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN.....</b>		
4.1	RESUMEN.....	70
4.2	ABSTRACT.....	72
4.3	INTRODUCCIÓN.....	73
4.4	MATERIALES Y MÉTODOS .....	77
4.4.1	Área experimental.....	77
4.4.2	Generación de sustratos.....	77
4.4.3	Evaluación del crecimiento, rendimiento y calidad de la fresa.....	78
4.4.4	Variables de respuesta.....	79
4.4.5	Análisis estadístico.....	80
4.5	RESULTADOS.....	81

4.5.1	Sustratos generados a través del algoritmo de optimización.....	84
4.5.2	Crecimiento, rendimiento y calidad de fresa en sustratos obtenidos con algoritmo de optimización.....	88
4.6	CONCLUSIONES.....	90
4.7	LITERATURA CITADA.....	91
	<b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>95</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
<b>CAPÍTULO 1</b>	
Cuadro 1 Fresa. Codificación BBCH de los estadios fenológicos de desarrollo de la fresa ( <i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) Meier (2001).....	5
Cuadro 2 Composición nutricional de la fresa ( <i>Fragaria x ananassa</i> Duch.). (USDA, Departamento de Agricultura de EE. UU: <a href="http://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list?Qlookup=09316&amp;format=Full">http://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list? Qlookup = 09316 &amp; format = Full.</a> ).....	10
<b>CAPÍTULO 2</b>	
Cuadro 1. Efecto de la granulometría, el componente de sustrato (turba, vermiculita, polvo de coco y composta) y de la combinación granulometría-componente de sustrato sobre las propiedades físicas.....	40
Cuadro 2. Efecto de la granulometría, componente de sustrato (turba, vermiculita, polvo de coco y composta), y de la interacción granulometría-componente de sustrato de las propiedades químicas.....	44
<b>CAPÍTULO 3</b>	
Cuadro 1. Regímenes nutrimentales en la producción de fresa en hidroponía bajo cubierta plástica.....	55
Cuadro 2. Características morfológicas y acumulación de biomasa en plantas de fresa en respuesta al régimen nutrimental.....	60
Cuadro 3. Componentes de rendimiento y concentración de sólidos solubles totales en frutos de fresa por efecto del régimen nutrimental.....	62

## **CAPÍTULO 4**

Cuadro 1.	Propiedades físicas del sustrato comercial a base de Peat Moss (sustrato comercial) y de vermiculita, polvo de coco y composta.....	81
Cuadro 2.	Sustratos obtenidos a través del algoritmo de optimización.....	82
Cuadro 3.	Propiedades físicas teóricas de los sustratos generados a través del algoritmo de optimización, y del Peat Moss determinadas en laboratorio.....	83
Cuadro 4.	Propiedades físicas de Peat Moss y de los sustratos generados a través del algoritmo de optimización, obtenidas en laboratorio.....	84
Cuadro 5.	Crecimiento de fresa en sustratos obtenidos a través del algoritmo de optimización.....	87
Cuadro 6	Rendimiento y calidad de la fresa en sustratos obtenidos a través del algoritmo de optimización.....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>CAPÍTULO 1</b>	
Figura 1	Planta de fresa var. San Andreas ( <i>Fragaria x ananassa</i> Duch.). A. Corona y raíz, B. Hojas trifoliada, C. Flor, D. Fruto 4
<b>CAPÍTULO 2</b>	
Figura 1	Técnica de cuarteo para homogeneizar el sustrato..... 33
Figura 2	Porómetro..... 35
Figura 3	Muestras colocadas para medir el volumen de drenado..... 36

## INTRODUCCIÓN GENERAL

La fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) es un híbrido natural generado por el cruzamiento de *F. chiloensis* y *F. virginiana*, lo que dio como resultado una planta vigorosa con fruta grande y de gran sabor. Es nativa de regiones templadas de todo el mundo, se mantiene verde durante todo el año y produce brotes nuevos cada temporada. La “Reina Berry”, como suelen llamarle, es muy apreciada en todo el mundo; para su consumo en fresco, así como en la industria de procesamiento de frutas para preparar mermeladas, vinos y otros productos. Posee alto valor nutricional y también se considera un alimento nutracéutico por la presencia de compuestos antioxidantes especialmente hidrosolubles, como antocianinas, ácidos fenólicos, vitamina C, entre otros, los cuales protegen de la oxidación a muchos organelos. Es tanta su popularidad que la producción de fresas ha aumentado considerablemente en los últimos años.

Las estadísticas muestran que México ocupa el tercer lugar de producción en el mundo. Ante los graves problemas fitosanitarios de las plantaciones de fresa en suelo, los productores buscan nuevas tecnologías de producción en donde se obtenga un buen crecimiento y rendimiento, considerando reducir costos en la nutrición y sustratos. En este sentido es escasa la información sobre aspectos relacionados con el régimen nutrimental y uso de sustratos de diferente composición que influyen en la producción y calidad de este cultivo, desde el trasplante hasta la cosecha. En el presente trabajo se abordan aspectos relacionados con la importancia de la fresa y los retos en su producción, asimismo, se evalúan las propiedades físicas y químicas de algunos sustratos en función de su granulometría y componente órgano-mineral, así como el efecto del régimen nutrimental en las diferentes etapas fenológicas del cultivo en variables morfológicas de la plantas, rendimiento y calidad de los frutos, y por último, la evaluación agronómica de cuatro sustratos generados mediante algoritmo de optimización con base en el desarrollo de la fresa.

# CAPÍTULO 1

## IMPORTANCIA DE LA FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.) Y LOS RETOS EN SU PRODUCCIÓN

### 1.1 Breve historia de la especie

El género *Fragaria* pertenece a la familia Rosaceae. Darrow (1966) menciona en su libro que la historia registrada de las *Fragas* se remonta a los años del 23 al 79 D.C. en los escritos de Plinio. En el año 1300, el norte de Europa, incluida Francia, cultivaban la fresa del bosque, *Fragaria vesca* L., que era apreciada tanto por sus flores como por sus frutos. También se cita que en América del Norte se cultivaba la fresa nativa, *Fragaria virginiana*, que era una planta capaz de soportar altas y bajas temperaturas. A principios del año 1600, *F. virginiana* fue llevada a Europa desde América del Norte. En la primera década de 1700, exploradores encontraron una fresa silvestre en Chile, *Fragaria chiloensis*, que producía frutos de gran tamaño, pero que no todos los climas eran aptos para ella (Husaini y Zaki, 2016).

Las fresas almizcladas, *Fragaria moschata*, también se cultivaron en Europa y Rusia durante siglos. Estas plantas producen frutos de color rojo claro a púrpura y tienen un sabor vinoso fuerte como la uva moscatel. Según Darrow (1966) en 1714, tuvo lugar el evento más importante en la historia de la fresa moderna, puesto que un miembro del ejército francés llamado Amédée-François Frézier, volvió de su servicio en Perú y Chile con algunas plantas de *F. chiloensis*. Cuando llegó a Francia, repartió sus plantas, así una de ellas fue cruzada con *F. virginiana* (Hancock y Luby, 1995). Por lo tanto, se obtuvo un híbrido natural que conjunta una planta resistente con fruta grande desarrollada por cruce natural. Este híbrido natural fue llamado *Fragaria x ananassa* Duch., y muchas especies anteriores han sido suplantadas por su cultivo desde entonces (Husaini y Zaki, 2016).

## 1.2 Características morfológicas de la planta

La fresa es nativa de las regiones templadas de todo el mundo y es considerada perenne, ya que se mantiene verde durante todo el año y puede producir brotes nuevos cada año o temporada (Contreras *et al.* 2011; Díaz *et al.*, 2012). Consta de un tallo principal el cual es llamado corona, donde surgen los tallos florales, así como las hojas y estolones (Díaz *et al.*, 2012; Figura 1A). Los estolones crecen en múltiples direcciones, produciendo nuevas plantas gracias a sus yemas terminales, capaces de formar nuevas raíces (Contreras *et al.*, 2011).

Cada hoja está compuesta por tres folíolos, es decir, una hoja compuesta por tres hojas, que a su vez son dentadas, con nervaduras destacadas y de color verde más oscuro en el haz y un verde ligeramente pálido en el envés. Los tallos florales no presentan hojas. En su ápice aparecen flores de cinco pétalos blancos, cinco sépalos y de 20 a 35 estambres, además de varios cientos de pistilos que sobresalen de un receptáculo carnoso (Díaz *et al.*, 2012; SIAP, 2020). El fruto es un achenio, es decir, un receptáculo floral engrosado y carnoso sobre el que se hallan los frutos verdaderos, pequeños aquenios de color oscuro que van de 150 a 200 (Santos y Obregón, 2009; Figura 1B, C y D).

El sistema radical de la fresa es fasciculado, se compone de raíces y raicillas que son de extensión moderada, regularmente no rebasa los 30 cm de profundidad y tienen crecimiento horizontal y vertical (Esquivel, 2005; Santos y Obregón, 2009; Plan Rector, 2012). Las raíces presentan cambium vascular y suberoso mientras que las raicillas carecen de este y son de color más claro, tienen un periodo de vida más corto, de algunos días o semanas, mientras que las raíces son perennes (Figura 1A)



Figura 1. Planta de fresa var. San Andreas (*Fragaria x ananassa* Duch.). A. Corona y raíz, B. Hojas trifoliada, C. Flor, D. Fruto

En general la planta de fresa consta de nueve estadios o fases fenológicas según la Codificación BBCH de los estadios fenológicos de desarrollo de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) descrita por Meier (2001) (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Fresa. Codificación BBCH de los estadios fenológicos de desarrollo de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) Meier (2001).**

Código	Descripción
Estadio principal 0.	Brotación La yema principal comienza a crecer
Estadio principal 1.	Desarrollo de las hojas De una a nueve hojas
Estadio principal 4.	Desarrollo de las partes vegetativas cosechables Formación de estolón: estolones visibles (alrededor de 2 cm de longitud)
Estadio principal 5.	Aparición del órgano floral Los primeros primordios florales aparecen en la base de la roseta foliar
Estadio principal 6.	Floración Primeras flores, abiertas (primarias o flores A, ver figura 1)  Flores marchitándose: la mayoría de los pétalos, caídos
Estadio principal 7.	Formación del fruto Receptáculo sobresaliendo de la corona de sépalos
Estadio principal 8.	Maduración del fruto Comienzo de la maduración: la mayoría de los frutos, blancos  Los primeros frutos comienzan a adquirir el color varietal típico
Estadio principal 9.	Cosecha principal: La mayoría de los frutos, coloreados Senescencia y comienzo del reposo vegetativo Comienzo de la formación de los botones axilares Hojas nuevas con limbo más pequeño y pedúnculo corto, visibles Hojas viejas, muriéndose; hojas jóvenes, curvándose; hojas viejas, del color varietal típico Hojas viejas, muertas

### **1.3 Importancia socioeconómica**

La fresa es una fruta muy popular y con gran importancia socioeconómica, tanto para el mercado fresco, así como en la industria de procesamiento de frutas para preparar mermeladas, vinos y otros productos; también tiene importantes valores medicinales y saludables (Hummer y Hancock 2009). Se observa su popularidad por el simple hecho de que la producción de fresas ha aumentado considerablemente en los últimos años (Husaini y Abdin, 2008).

México ocupa el tercer lugar en producción a nivel mundial (653, 639 t), encabezando la lista China (2, 995, 453 t) seguido por Estados Unidos de América (1,296,272 t) (FAOSTAT, 2020). En México los principales estados productores, con base en el rendimiento de toneladas por hectárea, son: Michoacán (46,765), Guanajuato (57,430), Estado de México (22,219), Aguascalientes (50,864) y Morelos (9,800) (SIAP, 2020).

A la fresa también se le conoce como la "Reina Berry" (Hummer y Hancock, 2009). El género *Fragaria* incluye aproximadamente 25 especies distribuidas en las zonas templadas norte y holárticas; a excepción de la especie cultivada *Fragaria x ananassa* Duch, las otras especies son silvestres (Hummer *et al.*, 2009; Staudt, 2009; Hummer, 2012), mientras que China ha sido considerada como un importante centro de distribución de recursos de fresas silvestres en el mundo, siendo que en México también se cultivan diferentes variedades.

### **1.4 Variedades de fresa cultivadas en México**

En México, las variedades que mayormente se trabajan son extranjeras, y han sido desarrolladas por la Universidad de California y la Universidad de Florida, ambas en USA, entre las que se encuentran: Festival, Camino Real, Albión y San Andreas. Recientemente se han liberado 'CP Zamorana' y 'CP Jacona' como dos nuevas variedades de fresa creadas por el Colegio de Postgraduados en México. La

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación otorgó los correspondientes títulos de obtentor número 0500 y 0501, respectivamente (Diario Oficial, 2010; Rodríguez-Bautista *et al.*, 2012).

Cada variedad de fresa tiene características específicas, tales como: el rendimiento, época de producción, resistencia a plagas y enfermedades, sabor, color, tamaño, entre otras. Sin embargo, éstas se pueden expresar de manera diferente, dependiendo de la región donde se establezcan (Rodríguez-Bautista *et al.*, 2012).

**‘Festival’**. Es una variedad líder en los estados de Guanajuato, Michoacán, Estado de México y Sinaloa. Produce fruta abundante y de excelente calidad, tanto para consumo en fresco como para la industria. Es una planta vigorosa de fotoperiodo corto, en invierno tiene una producción temprana, consistente y uniforme, es gran productora de estolones y presenta un rendimiento de 13,240 kg de fruta por hectárea (Santoyo y Martínez, 2010). El fruto de fresa es brillante y rojo de forma cónica, de textura firme con excelente sabor, mantiene un tamaño mediano a grande a lo largo de la producción. Es susceptible a antracnosis (*Colletotrichum maculatum*), pudrición de corona (*Colletotrichum gloeosporoides*) y bacterias.

**‘Camino Real’**. Esta es la variedad con mayor demanda de los materiales que produce la Universidad de California. Produce frutos de primera calidad, es una planta pequeña y erecta (fácil de manejar), permite grandes densidades de plantación y facilita la recolección. El fruto es firme y de color rojo oscuro por dentro y por fuera. Es muy resistente a daños por lluvia y sin problemas de polinización, es decir, el porcentaje de deformación es muy baja y por lo tanto el porcentaje de fruta de segunda calidad es considerablemente bajo; tiene buena adaptación a las condiciones climáticas. Es una variedad de día corto que inicia su producción un poco más tarde que otras (en México la conocen como variedad tardía pues comienza a producir a mediados de noviembre). Es una Variedad muy tolerante a enfermedades importantes como: *Phytophthora*, *Verticillium* y *Anthracois*. También tiene tolerancia a *Tetranychus urticae*, *Xanthomonas* y a las manchas

comunes de la hoja. Presenta sensibilidad a las aspersiones con azufre (Eurosemillas, 2020).

**‘Albi3n’**. Es una variedad de reciente introducci3n a M3xico, se conoci3 apenas en el 2006 y tiene una demanda ascendente. Es la segunda variedad en importancia de la Universidad de California, es precoz y los productores la clasifican como muy buena. Su fruta es de calidad excelente tanto para exportaci3n como para el mercado nacional. Es una variedad de d3a neutro, moderadamente vigorosa con alta resistencia a condiciones climatol3gicas adversas, adem3s de poseer altos rendimientos. Presenta una excepcional calidad organol3ptica del fruto y sabor. El fruto es grande de excelente sabor, color rojo interno y externo. Es tolerante a la mayor3a de pat3genos en el suelo (*Verticillium*, *Phytophthora*), moderadamente tolerante a cenicilla (*Sphaerotheca macularis*) y araña roja (*Tetranychus urticae*) (D3az *et al.*, 2012; Eurosemillas, 2020).

**‘San Andreas’**. Es una variedad muy productiva, con un periodo de producci3n muy largo que permite llegar a los mercados cuando se alcanzan los mejores precios, ya que es m3s temprana y tard3a que el resto, con lo cual apenas encuentra competencia. Su fruta es muy firme, de color rojo medio brillante y sabor y olor excelente. Es una variedad de d3a neutro moderado, de excelente calidad de fruta (similar a Albi3n), excelente sabor, con poca necesidad de fr3o en vivero. Posiblemente la primera variedad de d3a neutro que se adapta a los mercados de variedades de d3a corto. Produce muchos menos estolones que Albi3n cuando est3 en producci3n de fruta. Es muy resistente a *Phytophthora* y Antracnosis, presenta menos incidencias de botritis (*Botrytis cinerea*) y oidio (*Podosphaera aphanis*) (Eurosemillas, 2020).

## **1.5 Aporte nutricional de la fresa en la dieta humana**

Debido a que la fresa contiene un alto valor nutricional es muy apreciada por todo el mundo para su consumo en fresco (Cuadro 2). Carvajal *et al.* (2012) mencionan

que la actividad antioxidante de extractos de fresa se asocia con el contenido de fenoles totales; las antocianinas, colorantes naturales con potente propiedad antioxidante, son las responsables del color brillante y atractivo de las fresas; los efectos benéficos de estas sustancias han promovido la investigación de los factores que pueden estimular su producción o afectar su calidad en las frutas.

La fresa es considerada un alimento nutraceutico, ya que posee una buena fuente de compuestos antioxidantes especialmente hidrosolubles, como antocianinas, ácidos fenólicos, vitamina C, entre otros, que tienen funciones específicas como protectores de la oxidación de muchos organelos (Olsson *et al.*, 2004; Russell *et al.*, 2009). Por su parte, Esquivel (2005) mencionan que es utilizada como medicamento para la diarrea, enterocolitis, infecciones urinarias, prevención de litiasis urinarias, hepatitis, catarrros de las vías respiratorias, hiperuricemia, gota, hipertensión arterial, edemas, sobrepeso acompañado de retención de líquidos, anemia, entre otros padecimientos.

El consumo de frutas y hortalizas que aportan un efecto benéfico a la salud, se ha incrementado en los últimos años; puesto que han sido asociados con una baja incidencia de enfermedades degenerativas, cáncer, enfermedades del corazón, inflamación, artritis, disminución del sistema inmunológico, trastorno cerebral y cataratas según lo menciona Restrepo *et al.* (2010).

Las tendencias mundiales en alimentación en años recientes marcan un gran interés hacia aquellos alimentos que, además de su valor nutritivo, aporten beneficios a las funciones fisiológicas del organismo humano. De allí se concluye que se necesitan profundizar más en cuanto a la nutrición de los cultivos para obtener frutas de excelente calidad con alto valor nutraceutico.

**Cuadro 2. Composición nutricional de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.).**

**(USDA, Departamento de Agricultura de EE. UU .:**

**[http://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/ list? Qlookup = 09316 & format = Full.](http://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list? Qlookup = 09316 & format = Full.))**

Componente	Cantidad por 100g	Unidad	Componente	Cantidad por 100g	Unidad
Agua	90.95	g	Vitamina A	12	iu
Energía	32	kcal	Licopeno	0	µg
Energía	136	kj	Luteína + Zeaxantina	26	µg
Proteína	0.67	g	Vitamina E (Alfatocoferol)	0.29	mg
Total lípido (grasa)	0.3	g	Vitamina E (añadida)	0	mg
Ceniza	0.4	g	Beta tocoferol	0.01	mg
Carbohidrato (por diferencia)	7.68	g	Gama tocoferol	0.08	mg
Fibra (dieta total)	2	g	Delta tocoferol	0.01	mg
Azúcar (total incluyendo NLEA)	4.89	g	Alfa tocotrienol	0.01	mg
Sacarosa	0.47	g	Beta tocotrienol	0	mg
Glucosa (dextrosa)	1.99	g	Gama tocotrienol	0	mg
Fructosa	2.44	g	Delta tocotrienol	0	mg
Lactosa	0	g	Vitamina D (D2 + D3)	0	µg
Maltosa	0	g	Vitamina D	0	iu
Galactosa	0	g	Vitamina K (Poliquinona)	2.2	µg
Almidón	0.04	g	Dihidropoliquinona	0	µg
Calcio (Ca)	16	mg	Ácidos grasos, saturados totales.	0.015	g
Hierro (Fe)	0.41	mg	Ácidos grasos, monoinsaturados totales.	0.043	g

Magnesio (Mg)	13	mg	Ácidos grasos, poliinsaturados totales	0.155	g
Fósforo (P)	24	mg	Ácidos grasos, trans totales	0	g
Potasio (K)	153	mg	Colesterol	0	mg
Sodio (Na)	1	mg	Fitoesteroles	12	mg
Zinc (Zn)	0.14	mg	Triptófano	0.008	g
Cobre (Cu)	0.048	mg	Treonina	0.02	g
Manganeso (Mn)	0.386	mg	Isoleucina	0.016	g
Selenio (Se)	0.4	µg	Leucina	0.034	g
Fluoruro (F)	4.4	µg	Lisina	0.026	g
Vitamina C (Total de ácido ascórbico)	58.8	mg	Metionina	0.002	g
Tiamina	0.024	mg	Cistina	0.006	g
Riboflavina	0.022	mg	Fenilalanina	0.019	g
Niacina	0.386	mg	Tirosina	0.022	g
Acido pantoténico	0.125	mg	Valina	0.019	g
Vitamina B-6	0.047	mg	Arginina	0.028	g
Total de folato	24	µg	Histidina	0.012	g
Ácido fólico	0	µg	Alanina	0.033	g
Folato (Comida)	24	µg	Ácido aspártico	0.149	g
Folato (DFE)	24	µg	Ácido glutámico	0.098	g
Total de Colina	5.7	mg	Glicina	0.026	g
Betaina	0.2	mg	Prolina	0.02	g
Vitamina B-12	0	µg	Serina	0.025	g
Vitamina A (RAE)	1	µg	Alcohol etílico	0	g
Retinol	0	µg	Cafeína	0	mg
Beta Caroteno	7	µg	Teobromina	0	mg
Alfa caroteno	0	µg	Beta criptoxantina	0	µg

## 1.6 Producción de fresa en diferentes sistemas

La producción de fresa es principalmente en suelo. Los sistemas de producción de fresa más utilizados en el país se clasifican de acuerdo con el nivel de tecnificación en cuanto a riego y cubierta. De manera que destacan los sistemas semitecnificado y tecnificado en comparación con el sistema tradicional, ya que generan un incremento del rendimiento, además el precio del producto es mayor por ofrecer una mejor calidad, resultando en una rentabilidad mayor. Los sistemas sin suelo ofrecen mejor control de los factores de producción, pero estos no se han explorado a fondo.

**Sistema tradicional.** En este sistema de producción, el cultivo se desarrolla en suelo, teniendo contacto directo con el agua de riego, ya que este es por gravedad y no se utilizan cubiertas protectoras (Martínez-Bolaños *et al.*, 2008). El rendimiento por hectárea es variable, en promedio se obtienen  $26 \text{ t ha}^{-1}$ , esto depende en gran medida de la disponibilidad de agua y de las variaciones climáticas presentes en las áreas productoras (Díaz *et al.*, 2012). Ojeda-Real *et al.* (2008) mencionan que la planta de fresa es sensible al estrés hídrico, es decir, se requieren grandes cantidades de agua para su producción; sin embargo, al aplicar riego en exceso, se incrementa la posibilidad de enfermedades y la pérdida de nutrientes por lixiviación, además de que las condiciones de producción son menos inocuas, por lo que su destino, en el mayor de los casos, es la industria y el mercado nacional (Díaz *et al.*, 2013).

**Sistema semi-tecnificado.** Se maneja como un sistema de mediana tecnología: fertirrigación, riego por goteo y acolchado con plástico de color blanco. El gasto de agua es menor en comparación con el riego superficial y se aprovechan mejor los nutrientes a través del fertirriego, además de que el cultivo no tiene contacto directo con el suelo y se reduce la presencia de enfermedades (Juárez-Rosete *et al.*, 2007; Martínez-Bolaños *et al.*, 2008). Díaz *et al.* (2013) mencionan que el rendimiento promedio mediante este sistema de producción es aproximadamente de  $32 \text{ t ha}^{-1}$  de fresa, con calidad más uniforme en comparación con el sistema tradicional. La

fruta de primera calidad se destina al mercado de exportación en fresco, mientras que la de segunda, al mercado nacional y a la industria.

**Sistema tecnificado.** Es un sistema con tecnología de macro túnel; se utilizan principalmente aguas subterráneas o agua superficial limpia de manantial, de río o de presas acondicionadas (en este último caso acondicionado con algún desinfectante), su aplicación es mediante el fertirriego, se emplea el acolchado y la totalidad de la superficie está cubierta con lonas plásticas, con lo cual se mejora el manejo fitosanitario y los frutos que se obtienen son de calidad buena a excelente. Con este sistema se favorece el rendimiento que va de 70 a 90 t ha<sup>-1</sup> y el período de cosecha se prolonga de noviembre a agosto del siguiente año (Díaz *et al.*, 2012; Díaz *et al.*, 2013).

Los agricultores han observado una importante disminución del rendimiento debido a fitopatógenos presentes en el suelo; como resultado de ello, se requiere la desinfección continua, para lo cual se utilizan productos altamente dañinos que erosionan el suelo y degradan la capa de ozono (Peralbo *et al.*, 2005). Estos problemas patológicos y ambientales han conducido a un mayor interés para cultivar la fresa en sistemas sin suelo (López *et al.* 2005).

**Sistema sin suelo.** En los sistemas sin suelo se requieren de ciertas condiciones y medios para llevarse a cabo y lograr un aumento en la producción. De acuerdo con Caruso *et al.* (2011), en estos sistemas se tiene la ventaja de controlar la disponibilidad de agua y nutrientes (ajustando la concentración de la solución nutritiva), reduciendo y optimizando su gasto y mejorando la calidad del producto en cuanto a su apariencia y firmeza; además de reducir el impacto ecológico y económico de la producción de fresa.

Hay dos aspectos importantes a considerar en los sistemas sin suelo, el primero es referente al sustrato. Éste es considerado como todo material sólido, orgánico o inorgánico, en el que se desarrollan las raíces de las plantas, que colocado en un

contenedor en forma pura o mezclado, permite el anclaje del sistema radical y da soporte a la planta (Sánchez *et al.*, 2004; López *et al.*, 2005). El sustrato puede contribuir a mantener el tallo en un ambiente con bajo contenido de agua disponible, con el consecuente beneficio de reducir la aparición de la enfermedad fungosa denominada pudrición del cuello, que es una de las principales causas de la disminución del rendimiento (Agrios, 1998).

El otro aspecto está relacionado con los elementos nutritivos minerales, ya que una planta con calidad debe tener raíces abundantes, coronas múltiples, yemas diferenciadas y alto contenido de carbohidratos para establecerse rápidamente en el terreno de cultivo, y con ello obtener una producción precoz y de alto rendimiento (Rodríguez-Bautista *et al.*, 2012). El suministro de los nutrimentos de acuerdo con las necesidades de cada etapa fenológica tiene gran influencia en el crecimiento, floración, fructificación, rendimiento y calidad (Villegas-Torres *et al.*, 2005).

### **1.7 Sustratos como soporte de la planta en un sistema sin suelo**

Un sustrato es todo material sólido, orgánico o inorgánico, en el que se desarrollan las raíces de las plantas, que colocado en un contenedor en forma pura o mezclado, permite el anclaje del sistema radical y da soporte a la planta (Sánchez *et al.*, 2004). Sobre todo, un aspecto importante a considerar del sustrato es la granulometría, la cual determina el tamaño y distribución de los poros, así como la proporción agua-aire y en consecuencia el régimen de riego y el desarrollo de las plantas (Vargas-Tapia *et al.*, 2008).

Debido a las ventajas que ofrecen los sistemas sin suelo, los métodos de cultivo de fresa se han ido diversificando con el fin de elevar su potencial productivo, para así satisfacer las exigencias del mercado internacional y nacional, al mismo tiempo de producir en periodos específicos donde el precio es elevado (López *et al.*, 2005). Los sustratos en los cultivos sin suelo, por su mayor uniformidad, reducido volumen, aislamiento y favorables condiciones físicas, permiten una más fácil actuación y

estricto control, con vistas a proporcionar a las raíces las condiciones óptimas para el desarrollo de sus funciones. Existen diferentes sustratos para dar soporte, anclaje y aireación a las plantas; entre los más usados se encuentran: lana de roca, fibra de coco y tezontle; sin embargo, existen otros materiales tanto orgánicos como inorgánicos que merecen ser evaluados en la fresa como las compostas, PET entre otros (Sánchez, 2004; Mundo, 2006).

**Tezontle.** Es una roca volcánica considerada como material inerte desde el punto de vista químico; ampliamente utilizado como sustrato para la producción de hortalizas y flores en cultivos sin suelo, debido a que presenta características físicas y químicas deseables como valores de pH cercanos a la neutralidad, baja CIC, buena aireación, y con capacidad de retención de humedad que es dependiente del diámetro de la partícula (granulometría), adicionalmente no contiene sustancias tóxicas y tiene buena estabilidad física; es muy utilizado en México debido a su alta disponibilidad (Cabrera, 1999; Lara, 1999; Mundo, 2006; Vargas-Tapia *et al.*, 2008).

En la actualidad estos sustratos minerales, como el tezontle, requieren una atención especial, ya que la agricultura se suma a la explotación de este tipo de materiales, aunque la principal extracción de los yacimientos volcánicos tiene como destino la construcción (SCyT, 2010; Díaz *et al.*, 2013). Es por ello, que se deben evaluar y determinar las posibilidades de usar otros materiales alternativos pero iguales de eficientes que conserven sus propiedades para la producción hidropónica o cultivos sin suelo y así no solo favorecer a su conservación, sino que también tenga impacto en la reducción de los costos de producción.

**Fibra y polvo de coco.** Vargas-Tapia *et al.* (2008) mencionan que la fibra de coco es un residuo del procesamiento del coco para la producción de copra y de aceite. Sólo una fracción de la producción constante de este subproducto se ha utilizado en la fabricación de productos tales como cuerdas, relleno de alfombras, asientos de automóviles y alfombras de piso. También se ha utilizado como un sustrato para el cultivo de plantas ornamentales.

La fibra de coco (*Cocos nucifera*) es un material biológico de lenta descomposición que se origina a partir de residuos de cáscaras de coco (Acosta-Durán *et al.*, 2008; Vargas-Tapia *et al.*, 2008; Quintero *et al.*, 2011). Es un subproducto de las plantaciones de coco de los países situados en los trópicos, como Sri Lanka, India, Filipinas, Costa de Marfil y México, entre otros. La fibra de coco se obtiene de la parte gruesa del mesocarpio del fruto del cocotero, tiene un alto valor en la industria (Abad *et al.*, 2005); Burés (1997) explica que la fibra de coco consiste en partículas de celulosa, hemicelulosa y lignina; el 65% lo constituye la nuez y el 35% restante corresponde a la parte fibrosa.

Estructuralmente es una de las fibras más duras. El diámetro medio de las fibras varía dependiendo de la cantidad de fibra que queda en el material; los rangos de tamaño de partículas van de 0.5 a 2 mm aproximadamente (un cribado triple elimina prácticamente todo material de granulometría más fina o polvo) (Alvarado *et al.*, 2014).

La fibra y el polvo de coco en su mayoría se usa en el área agrícola y en plantas ornamentales, no obstante, se ha empezado a utilizar en la producción de plantas forestales esto debido sus características adecuadas como sustrato y sobre todo por su bajo costo comercial. Se comercializa en diferentes formas: principalmente por su textura granulada (0.5 a 2 mm), fibrosa (partículas mayores a 2 cm), mixta (mezcla 50 % granular: 50 % fibrosa) y en chips (partículas extremadamente gruesas) (Taveira, 2005; Muñoz, 2007).

**Vermiculita.** Es un aluminosilicato hidratado, de magnesio, potasio y hierro. De acuerdo con su composición química predominan los cationes intercambiables magnesio y potasio. La vermiculita posee una estructura casi laminar y es expandida a 900 °C. Al vaporizarse el agua contenida entre sus láminas, el calor las hace explotar en multitud de láminas delgadas con un gran contenido de aire en ellas. Es una sustancia hidrófila, posee gran capacidad de intercambio catiónico, baja densidad de partículas y permite la rehumectación de los sustratos (Cabrera, 1999;

Castro *et al.*, 2011). La vermiculita se puede encontrar en el mercado en diferentes tamaños de partículas: grande (3-15 mm), media (2-8 mm), fina (0.5-3 mm), superfina (0.5-1.7 mm) y micrón (0.1-1.0 mm) (França *et al.*, 2016).

Es muy usada en almácigos; la literatura menciona que algunos milímetros de vermiculita sobre los semilleros aseguran el mantenimiento de la aireación, la temperatura y la higrometría óptimas, también debido a la ligereza y a su estructura exfoliada elimina todo riesgo de asfixia y de agresión mecánica; así las plántulas crecen sin ningún inconveniente, ni riesgo de intoxicación ni de infección. La vermiculita se puede mezclar con otros sustratos proporcionando aireación e hidratación para que las raíces respiren mejor (Cabrera, 1999; Castro *et al.*, 2011).

**Compostas.** El compostaje es una tecnología sencilla y económica para aprovechar toda clase de basura biodegradable: desechos de jardín o cocina, papeles, estiércoles animales, entre otros. Con la ayuda de microorganismos y/o de lombrices se produce tierra humus de los desechos orgánicos. Este es un proceso biológico en el cual la materia orgánica se transforma en tierra de humus (abono orgánico) con la acción de microorganismos, para lo cual se requieren de condiciones físico-químicas necesarias (especialmente temperatura, relación carbono/nitrógeno, aireación y humedad) para que se lleve a cabo la fermentación aeróbica de estas materias (Röben, 2002).

Se le llama Residuos Sólidos Municipales (RSM) al manejo de la basura y/o desechos de jardín de las zonas urbanas. Una de las ventajas del compostaje de los RSM es que ayuda a resolver el problema del manejo de la basura de jardín; este material puede contrarrestar el efecto progresivo de empobrecimiento de suelos causada por el decremento del contenido de materia orgánica en los suelos intensivamente cultivados. Varios autores han comprobado que la composta de RSM puede mejorar las propiedades físicas de suelos agrícolas, y actualmente se están usando en sistemas sin suelo solo como soporte para las plantas

proporcionando las condiciones ideales para el buen desarrollo de las raíces (Bresson *et al.*, 2001; Cruz *et al.*, 2009).

En la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, la Dirección General de Desarrollo Sustentable (DGDS) y el H. Ayuntamiento de Cuernavaca, administran la Planta Universitaria de Compostaje (PUC), donde se realiza tratamiento a los residuos orgánicos derivados del mantenimiento de áreas verdes de la ciudad de Cuernavaca y de la UAEM. En la PUC se reciben diariamente 100 m<sup>3</sup> de residuos orgánicos y como producto de su tratamiento se ha producido composta, misma que se distribuye a diferentes instancias de la UAEM que lo han solicitado. Por otro lado, en el año 2013 se inició con el proyecto de tratamiento de residuos orgánicos mediante la técnica de lombricompostaje, para lo cual se obtuvo lombriz roja californiana, mismas que fueron donadas por el laboratorio de edafoclimatología del Centro de Investigaciones Biológicas de la UAEM, con lo se obtiene un sustrato rico en nutrientes susceptible de aplicar en áreas verdes y en la agricultura. Esta composta producida aquí en la universidad es un excelente recurso que puede ser una alternativa viable para usarlo como sustrato en la producción de fresa en el estado de Morelos (DGDS, 2019).

### **1.8 Nutrición inorgánica en un sistema sin suelo**

El cultivo de fresa considera, entre otros factores, el suministro de nutrimentos esenciales para obtener producción con la calidad que demanda el mercado (Jara y Suni, 1999; Avitia-García *et al.*, 2014).

La importancia relativa de cada nutriente y las concentraciones varían a lo largo del ciclo del cultivo y son diferentes según la etapa fenológica (Kirschbaum y Borquez, 2006). Debido a la cantidad de nutrientes requerida por la planta, éstos se dividen en dos grupos: macroelementos principales como el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) y macroelementos secundarios como el calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S); los micronutrientes son aquellos que se necesitan en pequeñas

cantidades, como el hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo), cloro (Cl), níquel (Ni) (Ronen, 2008).

En un sistema sin suelo el protocolo nutricional debe ser manejado de diferente manera, pues como ya se mencionó cada etapa de desarrollo de la fresa requiere cierta cantidad de nutrimento; esto se puede dar siempre y cuando haya una determinada relación de cationes y aniones en la solución nutritiva (Villegas-Torres *et al.*, 2005).

**Relación nitrógeno: fósforo y nitrógeno: potasio.** Por ejemplo, el suministro de nutrientes, en particular la concentración relativa entre N y P, cumple una función importante en la regulación del crecimiento y el equilibrio vegetativo de la planta, pues afectan la formación y el desarrollo de nuevos órganos e interactúan con la iniciación de la floración (Savini y Neri, 2004; Massetani y Neri, 2016). El N también desempeña un papel clave en la asimilación del P, ya que induce un incremento en la absorción de éste por parte de la planta (Fernández, 2007).

Chávez-Sánchez *et al.* (2014) mencionan que el establecimiento de relaciones N:K idóneas por fases de desarrollo se muestra como un problema importante desde el punto de vista nutricional, pues inciden directamente en la productividad y calidad de la cosecha. La relación N:K regula la aparición de determinados desórdenes fisiológicos que restan calidad a los frutos, además contribuye al equilibrio entre los procesos de crecimiento y fructificación, influye en una adecuada partición de la biomasa vegetal y en una mayor eficiencia del proceso fotosintético, por la relación que se establece entre el CO<sub>2</sub> asimilado y el respirado (Xiao *et al.*, 2003; Hernández, 2009). En conclusión, la relación N:K contribuye a obtener un óptimo rendimiento en cualquier cultivo.

**Nitrógeno: exceso y deficiencia.** El exceso de N aumenta el vigor de las plantas, reduciendo la inducción floral (retrasa la floración), por lo tanto, se merma la calidad de los frutos en relación con el contenido de azúcares, textura, coloración (en

algunas variedades promueve el albinismo), ocurrencia de deformaciones y favorece el ataque de enfermedades y plagas. Por otra parte, la deficiencia disminuye el vigor de las plantas y la productividad, también se degrada la síntesis de antocianinas, pero mejora la calidad organoléptica de la fruta (Kirschbaum y Borquez, 2006; Hernández, 2009).

**Fósforo: exceso y deficiencia.** El exceso de P puede provocar disminución de la absorción de otros nutrientes como Fe y Zn. La deficiencia promueve la disminución del número de pedúnculos florales, del tamaño de las flores, atrasa la maduración de frutos, reduce el tamaño y firmeza de los mismos, favorece el albinismo, aumenta la acidez y deteriora el aroma. El desarrollo del sistema radical y la floración son los períodos más críticos para la demanda de P (Kirschbaum y Borquez, 2006; Fernández, 2007).

**Potasio: exceso y deficiencia.** Los efectos negativos del exceso de K son: disminución de la asimilación de P, obtención de frutos de menor calibre, además altas concentraciones de  $K^+$  inhiben la absorción de  $Ca^{2+}$  (Ribas *et al.*, 2001; Ramírez *et al.*, 2010). En cuanto a la deficiencia primero se manifiesta en hojas viejas, los márgenes foliares toman coloración púrpura-rojiza, el patrón de coloración avanza hacia el interior de la lámina formando un triángulo verde, necrosis marginal, la fruta no pigmenta completamente. Lo anterior coincide con disminución del vigor, bajos rendimientos y pobre calidad de fruta (Conti, 2000; Kirschbaum y Borquez, 2006)

## 1.9 La nutrición y las enfermedades

Por lo general se acostumbra a considerar que la nutrición de las plantas está únicamente relacionada con sus funciones en el metabolismo, las cuales afectan el crecimiento y el rendimiento de los cultivos; sin embargo, el estado nutricional de una planta tiene gran influencia en la resistencia o susceptibilidad de las plantas a las enfermedades (Velasco, 1999; Múnevar, 2004; Nam *et al.*, 2006).

Múnevar (2004) menciona que la relación entre la concentración de N y de K en los tejidos de las plantas tiene efectos sobre el desarrollo de las enfermedades; cuando hay una baja concentración de K y una concentración alta de N se favorece el desarrollo de las enfermedades fungosas. El P también genera resistencia contra las enfermedades, aunque este efecto es mayor para el K. Velasco (1999) cita que las aplicaciones de P reducen las enfermedades en semillas, así como enfermedades fungosas en la raíz, al estimular un desarrollo vigoroso que permite a las plantas evadir las enfermedades. En cambio, si hay exceso de P se incrementa la susceptibilidad de las plantas a las enfermedades virosas.

Por lo tanto, un suministro balanceado de nutrientes asegura un crecimiento vegetal óptimo, al mismo tiempo que logra resistencia a las enfermedades, ya que los nutrimentos permiten soportar en mayor o menor medida el efecto de algunas enfermedades en el desarrollo y rendimiento del cultivo (Velasco, 1999; Múnevar, 2004; Nam *et al.*, 2006).

## 1.10 LITERATURA CITADA

- Abad, M.; Fornes, F.; Carrion, C.; Noguera, P.; Maquieiria, A., Puchades, R. 2005. Physical properties of various coconut coir dust compared to peat. HortScience. 40 (7):2138-2144.
- Acosta-Durán, C. M.; Gallardo, C. S.; Kämpf, A. N. y Bezerra, F. C. 2008. Materiales regionales utilizados en Latinoamérica para la preparación de sustratos. Investigación Agropecuaria. 5(2):93-106.
- Agrios, G. N. 1998. Fitopatología. Edit. Limusa. 838p
- Alvarado, H.; Tavera, M.; Mena, G.; Calderón, G.; López, R. y Salinas, E. 2014. Crecimiento y producción de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) en sustratos a base de compostas. Tópicos selectos de recursos: Desarrollo sustentable y finanzas. 50-63 pp.
- Avitia-García, E.; Pineda-Pineda, J.; Castillo-González, A. M.; Trejo-Téllez, L. I.; Corona-Torres, T. y Cervantes-Urbán, E. 2014. Extracción nutrimental en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 3(5):519-524.
- Bresson, L. M.; Koch, C.; Le Bissonnais, Y.; Barriuso, E. y Lecomte, V. 2001. Soil surface structure stabilization by municipal waste compost application. Soil Science Society of America Journal. 65(6):1804-1811.
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas. Madrid, España. 341p
- Cabrera, R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Revista Chapingo Serie Horticultura. 5(1): 5-11.
- Carvajal, L. M. de P.; Cartagena, R.; Peláez, C.; Gaviria, C. A. y Rojano, B. A. 2012. Capacidad antioxidante de dos variedades de *Fragaria x ananassa* (Weston) Duchesne (fresa) sometidas a variaciones en la nutrición vegetal. Revista Cubana de Plantas Medicinales. 17(1):37-53.
- Caruso, G.; Villari, G.; Melchionna, G. y Conti, S. 2011. Effects of cultural cycles and nutrient solutions on plant growth, yield and fruit quality of alpine strawberry

- (*Fragaria vesca* L.) grown in hydroponics. *Scientia Horticulturae*. 129(3):479-485.
- Castro, G.; Díaz, A.; Sarquís, P. y Elizondo, A. 2011. Aplicación de procesos físicos para la depuración de mineral de vermiculita de un yacimiento de argentina. *Revista de la Facultad de Ingeniería*. 26: 1-10
- Chávez-Sánchez, E.; Preciado-Rangel, P.; Fortis-Hernández, M.; Rocha-Valdez, J. L. y Salazar-Sosa, E. 2014. Fertilización nitrogenada y potásica en la producción y calidad de fresa. *In: Memoria del XXXIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. Ciudad Juárez, Chihuahua. 30-33 pp.
- Conti, M. E. 2000. Dinámica de la liberación y fijación de potasio en el suelo. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur, INPOFOS*. 8:25-37.
- Contreras, J. C.; Benavides-González, Á. y Laguna-Miranda, R. 2011. Producción de hijas de estolones en dos variedades de fresa (*Fragaria spp*) en el castillito, las sabanas, Madriz. *La calera*. 9(12): 41-45.
- Cruz, C. E.; Estrada, B. M. A.; Robles, T. V.; Osorio, O. R.; Márquez, H. C. y Sánchez, H. R. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia* 25(1):59-67.
- Darrow, G.M. 1966. *The Strawberry: History, Breeding and Physiology*. Holt, Rinehart and Winston, New York. (No. SB385 D37
- Dirección General de Desarrollo Sustentable (DGDS). 2019. Disponible en línea: <https://www.uaem.mx/progau/#res>
- DIARIO OFICIAL. 2010. Aviso por el que se da a conocer información relativa a solicitudes de Títulos de Obtentor de Variedades Vegetales. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Lunes 23 de mayo de 2010. Primera Sección.
- Díaz, B. E.; P. Gutiérrez G. y Magaña, O. 2012. Plan rector Nacional. Sistema producto fresa. Versión actualizada, validada y priorización de proyectos durante la reunión anual del Comité Nacional del Sistema Producto Fresa, llevada a cabo el día 16 de diciembre del 2011 en Zamora, Mich.
- Díaz, E. R.; Pérez, E. S; Macías, R. R.; Eguiarte, D. R. G. y Munguía, S. M. 2013. Reúso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción

- de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*). Terra Latinoamericana. 31(4):275-284.
- Esquivel, M. 2005. Guía Técnica del Cultivo de Fresa. ICAMEX. Estado de México, 12p.
- Eurosemillas. 2020. Fresas. San Andreas. <http://www.eurosemillas.com/es/variedades/fresa/item/27-san-andreas.html>
- França, S. C.; Braga, P. F.; Couto, H. J. y Gonçalves, C. C. 2016. Vermiculita, mais que um mineral termo acústico. Rio de Janeiro. Francisco Wilson Hollanda Vidal (Org.). ANAIS: IV Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste. João Pessoa: Cetem. 126-136 pp.
- FAOSTAT. 2020. Producción agrícola. País por producto: Fresa. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>
- Fernández, M. T. 2007. Fósforo: amigo o enemigo. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. 41(2):51-57.
- Hancock, J.F. y Luby, J.J. 1995. Adaptive zones and ancestry of the most important can strawberry cultivars. Fruit Varieties Journal. 49(2):85–89.
- Hernández, M. I.; Salgado, J. M.; Chailloux, M.; Moreno, V. y Mojena, M. 2009. Relaciones nitrógeno-potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum L.*) y su efecto en la acumulación de biomasa y extracción de nutrientes. Cultivos tropicales. 30(4):00-00.
- Hummer, K. E., y Hancock, J. 2009. Strawberry genomics: botanical history, cultivation, traditional breeding, and new technologies. In Genetics and genomics of Rosaceae. 413-435 pp.
- Hummer, K.E.; Nathewet, P. y Yanagi, T. 2009. Decaploidy in *Fragaria iturupensis* (Rosaceae). American Journal of Botany. 96(3):713–716.
- Hummer, K.E. 2012. A new species of *Fragaria* (Rosaceae) from Oregon. J Bot Res Inst Texas. 6(1):9–15.
- Husaini, A. M. y Abdin, M. Z. 2008. Development of transgenic strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) plants tolerant to salt stress. Plant Science. 174(4):446-455.

- Husaini, A. M. y Zaki, F. A. 2016. Strawberries: A general account. Strawberry: Growth, Development and Diseases; Husaini, AM, Neri, D., Eds, 1-9.
- Jara, E. y Suni, M. 1999. Evaluación de soluciones nutritivas para el cultivo hidropónico de "fresa" *Fragaria x ananassa*. Revista Peruana de Biología 6(1): 061-067.
- Juárez-Rosete, C. R.; Rodríguez-Mendoza, M. N.; Sandoval-Villa, M. y Muratalla-Lúa, A. 2007. Comparación de tres sistemas de producción de fresa en invernadero. Terra Latinoamericana. 25(1):17-23
- Kirschbaum, D. S. y Borquez, A. M. 2006. Nutrición mineral de la frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.). Simpósio nacional do Morango. 117-127pp.
- Lara, A. H. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Terra Latinoamericana. 17(3):221-229.
- López, P. L.; Cárdenas, N. R.; Lobit, P.; Martínez, C. O. y Escalante, L. O. 2005. Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía. Revista Fitotecnia Mexicana. 28(2) 171-174
- Martínez-Bolaños, M.; Nieto-Angel, D.; Téliz-Ortiz, D.; Rodríguez-Alcazar, J.; Martínez-Damián, M. T.; Vaquera-Huerta, H. y Carrillo Mendoza, O. 2008. Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. Revista Chapingo. Serie horticultura. 14(2): 113-119.
- Massetani, F. y Neri, D. 2016. Plant architecture in different cultivation systems. Strawberry: Growth, Development and Diseases. 99-118
- Meier, U. 2001. Estadios de las plantas mono-y dicotiledóneas [BBCH Monografía].
- Mundo O., J. 2006. El vivero ornamental. Taller de imprenta universitaria UAEM. 461 p.
- Munévar, F. 2004. Relación entre la nutrición y las enfermedades de las plantas. Palmas. 25(4):171-178.
- Muñoz, Z. D. P. J. 2007. Comparación del sustrato de fibra de coco con los sustratos de corteza de pino compostada, perlita y vermiculita en la producción de plantas de *Eucalyptus globulus* (Labill). Tesis. Valdivia (CHL): Facultad de Ciencias Forestales-Universidad Austral de Chile. 58p.

- Nam, M. H.; Jeong, S. K.; Lee, Y. S.; Choi, J. M. y Kim, H. G. 2006. Effects of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium nutrition on strawberry anthracnose. *Plant pathology*. 55(2):246-249.
- Ojeda-Real, L. A.; Cárdenas-Navarro, R.; Lobit, P.; Grageda-Cabrera, O.; Valencia-Cantero, E. y Macías-Rodríguez, L. 2008. Efecto de la nutrición nítrica y sistemas de riego en el sabor de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Revista Chapingo. Serie horticultura*. 14(1):61-70.
- Olsson, M. E.; Gustavsson, K. E.; Andersson, S.; Nilsson, A. y Duan, R. D. 2004. Inhibition of cancer cell proliferation in vitro by fruit and berry extracts and correlations with antioxidant levels. *Journal of agricultural and food chemistry*. 52(24):7264-7271.
- Peralbo, A.; Flores, F. y López-Medina, J. 2005. Recirculating nutrient solution in strawberry. *Acta Horticulturae*. 697:101-106.
- Quintero, M. F.; González, C. A. y Guzmán, J. M. 2011. Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. *Sustratos, Manejo del Clima, Automatización y Control en Sistemas de Cultivo sin Suelo*. 79-108.
- Ramírez, M. M.; Trejo, T. L. I.; Gómez, M. F. C. y Sánchez, G. P. 2010. La relación  $K^+/Ca^{2+}$  de la solución nutritiva afecta el crecimiento y calidad postcosecha del tulipán. *Revista fitotecnia mexicana*. 33(2):149-156.
- Restrepo, D.; María, A.; Cortés, R. y Rojano, B. A. 2010. Potenciación de la capacidad antioxidante de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) por incorporación de vitamina e utilizando la técnica de impregnación a vacío. *Vitae (Medellín)*. 17(2):135-140.
- Ribas, F.; Cabello, M. J.; Moreno, M. M.; Moreno, A. y López-Bellido, L. 2001. Influencia del riego y de la aplicación de potasio en la producción del melón (*Cucumis melo* L.). I: Rendimiento. *Investigación Agraria: Producción y Protección de Vegetales*. 16(2):283-297.
- Röben, E. 2002. Manual de compostaje para municipios. DED/Ilustre Municipalidad de Loja, Loja, Ecuador. 68p.
- Rodríguez-Bautista, G.; Calderón-Zavala, G.; Jaen-Contreras, D. y Curiel-Rodríguez, A. 2012. Capacidad de propagación y calidad de planta de

- variedades mexicanas y extranjeras de fresa. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*. 18(1):113-123.
- Ronen, E. 2008. Microelementos en la agricultura. *Red Hidroponía. Boletín* 38.
- Russell, W. R.; Labat, A.; Scobbie, L.; Duncan, G. J. y Duthie, G. G. 2009. Phenolic acid content of fruits commonly consumed and locally produced in Scotland. *Food Chemistry*. 115(1):100-104.
- Sánchez R., F.J.; Moreno R.; J.L.; Puente M. y J. Araiza Ch. 2004. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero. Instituto de Ciencias Agrícolas Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. Torreón, Coah, México. 13(14):44-52.
- Santos, B. M., y Obregón, H. A. 2009. Prácticas culturales para la producción comercial de fresas en Florida. *EDIS*,10p.
- Santoyo, J. A., y Martínez, C. O. 2010. Paquete tecnológico para la producción de fresa. Sagarpa. Disponible en: <http://www.cofupro.org.mx/cofupro/publicaciones.php>.
- Savini, G. y Neri, D. 2004. Strawberry architectural model. *Acta Horticulturae* 649: 169–176
- SCyT (Secretaria de Comunicaciones y Transportes). 2010. Inventario de bancos de materiales. Bancos\_2010. México, D. F.
- SIAP. 2020. Cierre de la producción agrícola por estado. Cultivo: fresa. [En línea]. Disponible en: [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=351](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351) (consultado el día 11 de junio de 2020).
- Staudt G. 2009. Strawberry biogeography, genetics and systematics. *Acta Horticulturae* 842:71–84. doi:10.17660/ActaHortic.2009.842.1
- Taveira, A. 2005. Fibra de coco: Una nueva alternativa para la formación de plantas. *Revista Brasileira de Reproducción de Plantas* 28(5):275 - 277.
- Vargas-Tapia. P.; Castellanos-Ramos J. Z.; Muñoz-Ramos J. de J., Sánchez-García P.; Tijerina-Chávez L.; López-Romero R. M.; Martínez-Sánchez C. y Ojo de agua-Arredondo J. L. 2008. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas

- propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agricultura Técnica en México*. 34(3):323-331.
- Velasco, V. A. V. 1999. Papel de la nutrición mineral en la tolerancia a las enfermedades de las plantas. *Terra Latinoamericana*. 17(3):193-200.
- Villegas-Torres, O. G.; Sánchez-García, P.; Baca-Castillo, G. A.; Rodríguez-Mendoza, M. N.; Trejo, C.; Sandoval-Villa, M. y Cárdenas-Soriano, E. 2005. Crecimiento y estado nutrimental de plántulas de tomate en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio y potencial osmótico. *Terra Latinoamericana* 23(1):49-56.
- Xiao, S.; Van der Ploeg, A.; Bakker, M. y Heuvelink, E. 2003. Two instead of three leaves between tomato trusses: measured and simulated effects on partitioning and yield. In international workshop on models for plant growth and control of product quality in horticultural production. 654:303-308

## CAPÍTULO 2

### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUSTRATOS EN FUNCIÓN DE SU GRANULOMETRÍA Y COMPONENTE ÓRGANO-MINERAL

#### 2.1 RESUMEN

Existen materiales inorgánicos y orgánicos con potencial para ser empleados como sustratos en la producción agrícola; sin embargo, es fundamental conocer la influencia de la granulometría y material sobre las características físicas y químicas de los sustratos derivados de la combinación granulometría-material; ya que ayudan en la disponibilidad de oxígeno, agua y nutrimentos para el buen desarrollo de las plantas. El objetivo fue cuantificar las propiedades físicas y químicas de sustratos en función de la granulometría (G1:  $\geq 0.5 - < 1.0$  mm; G2:  $\geq 1.0 - < 2.0$  mm; G3:  $\geq 2.0 - < 3.36$  mm), material (turba, vermiculita, polvo de coco y composta), y la combinación granulometría-material. Las variables físicas estimadas fueron la porosidad total, porosidad de aireación, capacidad de retención de agua, densidad aparente, densidad de partículas; y las químicas: pH y conductividad eléctrica. En todas las variables evaluadas se manifestaron diferencias estadísticas significativas por efecto de la granulometría, material y en la combinación granulometría-material. Por lo que, las propiedades físicas y químicas de los sustratos son modificadas tanto por la granulometría como por el tipo de material (orgánico o inorgánico), al igual que por la combinación granulometría-material; por lo tanto, es posible generar sustratos con propiedades físicas y químicas específicas para el desarrollo de las plantas a través de la combinación de materiales orgánico e inorgánicos en diferentes granulometrías.

**Palabras clave:** turba, vermiculita, polvo de coco, composta.

## 2.2 ABSTRACT

There are inorganic and organic materials with the potential to be used as substrates in agricultural production. However, it is essential to know the influence of the granulometry and material on the physical and chemical characteristics of the substrates derived from the granulometry-material combination; since they help in the availability of oxygen, water and nutrients for the proper development of plants. The objective was to quantify the physical and chemical properties of substrates as a function of granulometry (G1:  $\geq 0.5$  -  $<1.0$  mm; G2:  $\geq 1.0$  -  $<2.0$  mm; G3:  $\geq 2.0$  -  $<3.36$  mm), material (peat moss, vermiculite, coconut powder and compost), and the combination of granulometry-material. The estimated physical variables were total porosity, aeration porosity, water retention capacity, apparent density, and particle density; and chemistry: pH and electrical conductivity. Significant statistical differences were manifested in all the variables evaluated due to the effect of granulometry, material and in the combination of granulometry-material. Therefore, the physical and chemical properties of the substrates are modified both by the granulometry and by the type of material (organic or inorganic), as well as by the granulometry-material combination; Therefore, it is possible to generate substrates with specific physical and chemical properties for the development of plants through the combination of organic and inorganic materials in different granulometries.

**Key words:** Peat Moss, vermiculite, coconut dust, compost.

## 2.3 INTRODUCCIÓN

Existen materiales tanto orgánicos como inorgánicos con potencial para ser utilizados en la elaboración de sustratos. En la elección del sustrato se considera la especie vegetal a cultivar, la época, sistema de cultivo, costo del material, disponibilidad en la región de producción y sus propiedades físicas y químicas (Ortega-Martínez *et al.*, 2010).

Un sustrato está conformado por partículas sólidas y espacios libres denominados poros que conforman el espacio poroso total. Las propiedades físicas del sustrato están determinadas por la estructura interna de las partículas, el tipo de empaquetamiento y la granulometría, las cuales definen la capacidad de proveer agua y aire a las raíces. Un buen sustrato desde un punto de vista físico debe ser liviano, poroso y con buena capacidad de almacenar agua (Pastor, 1999; Pire y Pereira, 2003; Martínez y Soriano, 2014).

De acuerdo con Cruz-Crespo *et al.* (2013) y Villegas *et al.* (2017), algunas propiedades físicas más evaluadas en sustratos son: 1) densidad real o de partículas, 2) densidad aparente, se expresa generalmente en  $\text{g/cm}^3$ ; mediante esta característica se pueden estimar volumen y costo de transporte; 3) granulometría, es la distribución de partículas según su tamaño, 4) espacio poroso total, es el espacio que está ocupado por agua y aire, 5) capacidad de retención de agua. Es importante considerar la naturaleza de los materiales empleados y el tamaño de partícula utilizada en el medio de crecimiento, porque las partículas con diámetro mayor de 0.5 mm incrementan la porosidad total y disminuyen la retención de agua.

Las características químicas importantes de los sustratos son: 1) capacidad de intercambio catiónico, 2) pH y 3) conductividad eléctrica (Cruz-Crespo *et al.*, 2013 y Andreau *et al.*, 2015). Algunas propiedades biológicas que se determinan en materiales orgánicos son: 1) población microbiana y su relación con la presencia de sustancias reguladoras; 2) contenido de materia orgánica; 3) estado y velocidad de descomposición ( $\text{CO}_2$ ) (Burés, 1997, Cruz-Crespo *et al.*, 2013).

Martínez y Soriano (2014) mencionan que un material puede ser utilizado en estado puro o en mezcla para preparar sustratos conociendo sus características físicas y químicas, de ahí la importancia de evaluar las propiedades. Por otro lado, la mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos para conformar sustratos tiene el objetivo de generar las condiciones óptimas de porosidad, aireación, retención de agua, distribución granulométrica, estabilidad estructural, entre otras propiedades físicas y químicas; por lo tanto, es importante evaluar dichas características porque de ellas depende el éxito del cultivo (García *et al.*, 2001).

Con respecto a los materiales usados como sustratos en hidroponía se encuentran la turba, vermiculita, fibra y polvo de coco, tezontle y compostas. La turba de musgo (*Sphagnum*) tiene propiedades físicas, químicas y biológicas adecuadas para el buen crecimiento de las plantas, por lo que, es uno de los sustratos más utilizados, pero su costo es elevado por ser de importación y su disponibilidad en el mercado es irregular (Domínguez *et al.*, 2012). En respuesta a esta situación, se ha incrementado el interés en diferentes sustratos con fines de dar soporte, anclaje y aireación a las plantas; entre los más usados se encuentran: lana de roca, vermiculita, fibra de coco y tezontle. Sin embargo, existen otros materiales locales con potencial de uso como sustitutos de la turba, tanto orgánicos como inorgánicos, que por sus propiedades físicas merecen ser evaluados (Fernández *et al.*, 2006; Mundo, 2006; Bracho *et al.*, 2009).

### **Objetivo**

En este contexto, el objetivo de este trabajo fue cuantificar las propiedades físicas y químicas de algunos sustratos usados en sistemas hidropónicos en función de su granulometría y componente órgano-mineral.

## 2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.4.1 Ubicación del experimento

Las propiedades físicas y químicas de cuatro componentes de sustratos [1. Turba Sunshine® (S1, testigo ya que se considera un sustrato óptimo), 2. Vermiculita (S2), 3. Polvo de coco (S3); 4. Composta PROGAU-UAEM (S4)] se determinaron en el laboratorio de docencia de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, ubicada en Cuernavaca, Morelos, México.

### 2.4.2 Manejo del experimento

Los componentes de sustrato se dejaron expuestos al ambiente, pero protegidos de la radiación directa, durante 7 días para permitir su secado al aire; una vez secos se procedió a homogeneizar el material mediante la técnica del cuarteo (Villegas *et al.*, 2017). Esto se realizó vaciando el material sobre una superficie plana formando una circunferencia, misma que se dividió en cuatro partes iguales; de éstas se desecharon las dos cuartas partes opuestas; con las dos cuartas partes sobrantes se repitió el procedimiento hasta obtener 1 kg de material (Figura 1).



Figura 1. Técnica de cuarteo para homogeneizar el sustrato.

Del kilogramo de material seco se tomaron 100 g; éstos se hicieron pasar por tamices de diferente abertura durante 20 minutos para obtener las granulometrías deseadas: G1:  $\geq 0.5 - < 1.0$  mm; G2:  $\geq 1.0 - < 2.0$  mm; G3:  $\geq 2.0 - < 3.36$  mm. En este procedimiento se usó una tamizadora modelo RX-812, serie 17-1505 de 115 Volts © 60Hz, 4.4 AMPS (W. S. Tyler Mentor. OH, USA, 2013).

Posteriormente, de cada granulometría (G1, G2 y G3) se determinaron las propiedades físicas: porosidad total (PT, %), porosidad de aireación (PA, %), capacidad de retención de agua (CRA, %), densidad aparente ( $D_a$ , g/cm<sup>3</sup>) y densidad de partículas ( $D_p$ , g/cm<sup>3</sup>), con base en las fórmulas descritas por Pire y Pereira (2003). También se determinaron las propiedades químicas de acuerdo con Puerta *et al.* (2012), pH: empleando 10 g. de muestra en 50 mL de H<sub>2</sub>O destilada; la lectura se realizó con un potenciómetro transcurrida una hora; conductividad eléctrica, se mezclaron 10 g. de muestra en 50 ml de H<sub>2</sub>O destilada, la lectura se realizó con un conductímetro pasada una hora (Conductronic, PC-18, México). Para realizar lo anterior se utilizaron porómetros elaborados con cilindros de PVC de 7.62 cm de diámetro (3 pulgadas) y 15 cm de longitud. Un extremo del porómetro se mantuvo abierto mientras que el opuesto (base) se tapó con una lámina plástica. La base del porómetro cuenta con cuatro orificios de 5 mm de diámetro dispuestos en forma equidistante a lo largo del perímetro (Pire y Pereira, 2003; Villegas *et al.*, 2017, Figura 2).



Figura 2. Porómetro.

Cada una de las muestras separadas por granulometría se colocaron dentro del porómetro hasta su máxima capacidad; para ello, el dispositivo con sustrato se dejó caer en dos ocasiones desde una altura de 7.5 cm de altura sobre una base de madera. En cada oportunidad el porómetro se relleno con la respectiva muestra hasta su borde superior. Una vez que el porómetro se llenó con el componente de sustrato, en la parte superior se colocó una malla de tela para evitar la pérdida de sustrato durante el proceso de saturación con agua.

Los porómetros llenos de muestra se colocaron en agua sin rebasar el límite superior del dispositivo. El agua entró por los orificios de la base del porómetro; mientras el líquido ascendió a través de los poros del material para sustrato, el aire desplazado fue desalojado por la parte superior. El proceso de saturación de la muestra con agua duró 24 horas.

Transcurrido el tiempo de saturación de la muestra, los porómetros se sumergieron por completo durante 30 minutos; posteriormente se sacaron del agua y se volvieron a sumergir dos veces para la saturación completa de la muestra. A continuación, en los porómetros sumergidos se colocó un tapón en cada uno de los orificios de la

base. Después de sacarlos del agua, los porómetros se colocaron verticalmente sobre un recipiente, se removieron los tapones y se midió el volumen de agua (Va) que drenó en un período de 10 minutos. La muestra húmeda se retiró de los dispositivos, se pesó (PH) y se colocó en estufa (modelo: DHG9070A) a 105 °C por 72 horas para obtener el peso en seco (PS). El procesamiento de cada muestra se repitió cinco veces (Figura 3).



Figura 3. Muestras colocadas para medir el volumen de drenado.

#### **2.4.3 Análisis estadístico**

A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza con el programa SAS (Versión 9.0) y a los datos con efecto de tratamientos se les aplicó la prueba de comparación múltiple de medias Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## 2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Propiedades físicas

**Granulometría.** Con relación a la granulometría de los componentes de sustrato se observó que la PT (%) fue estadísticamente similar ( $p \leq 0.05$ ) para las tres granulometrías evaluadas. La PT promedio fue de 72.02 % (Cuadro 1). Sin embargo, para las variables PA, CRA, Da y Dp si se manifestaron diferencias significativas en función de la granulometría. Con la G1 ( $\geq 0.5$  mm – 1.0 mm<) los valores de CRA (68.87 %), Da ( $0.18$  g/cm<sup>3</sup>) y Dp ( $0.62$  g/cm<sup>3</sup>) fueron los más altos y disminuyeron conforme se incrementó el tamaño promedio de las partículas, lo cual indica que mientras mayor sea el tamaño de partícula, se reduce la capacidad del sustrato para retener agua por presentar poros más grandes en comparación con los sustratos con partículas sólidas de menor tamaño. Lo anterior se comprueba porque el componente de sustrato con G3, el PA fue de 27.51 % es decir que es superior con relación a granulometrías más pequeñas, al mismo tiempo que disminuyó la CRA a 44.21 % (Cuadro 1).

En este ensayo se observó que a medida que aumenta el tamaño de partícula también aumenta la PA, y a su vez la CRA disminuye; por lo tanto, se puede decir que el tamaño de partícula afecta directamente la relación agua-aire en los sustratos. De hecho, esto ya se ha probado y lo reafirman: Verdonck y Demeyer (2004) quienes señalaron la influencia que tiene el tamaño de partícula en las relaciones agua-aire en materiales puros y en mezclas, y recalcan que una misma fracción de diferentes materiales puede tener características físicas diferentes. Campos *et al.* (2009) también confirman el efecto directo de la distribución del tamaño de partícula sobre la disponibilidad de agua y aire en mezclas de perlita-compost y perlita-lombricomposta.

**Componentes de sustrato.** La turba (S1), vermiculita (S2), polvo de coco (S3) y composta (S4) presentaron algunas propiedades físicas diferentes desde el punto

de vista estadístico ( $p \leq 0.05$ ). El S1 tuvo los valores más altos en PT (77.53 %), PA (18.21 %) y CRA (59.32 %). El S3 también presentó valores estadísticamente similares que el S1 solo en PT (75.51) y PA (18.38) (Cuadro 1). Estos datos coinciden con lo reportado por Cabrera (1999) para el sustrato ideal donde valores óptimos para el sustrato turba (*Sphagnum*) en porosidad total fueron de 70-85%, porosidad de aireación de 10-20% y capacidad de retención de agua de 55-70%.

El S2 presentó el menor valor de PA que fue de 10.53 % en comparación con los otros componentes de sustrato (Cuadro 1). Este resultado difiere de lo reportado por López-Pérez *et al.* (2005) que determinaron las propiedades físicas de la vermiculita y encontraron valores en porosidad de aireación de 51 %. Es probable que la diferencia radique en la granulometría de la vermiculita evaluada puesto que no son similares.

El S3 presentó los valores más bajos de Da (0.069 g/cm<sup>3</sup>) y Dp (0.29 g/cm<sup>3</sup>) con relación al que manifestaron el S1, S2 y S4. Diversos autores han evaluado las propiedades físicas del polvo de coco, sin embargo, hay una gran diversidad de valores en las diferentes propiedades físicas, es posible que se deba a la falta de control en el tamaño de partícula de este material. Abad *et al.* (2005) reportaron una Da de 0.025 a 0.089 g/cm<sup>3</sup> en polvo de coco y Vargas -Tapia *et al.* (2008), quienes evaluaron polvo de coco de siete diferentes comercializadores, indicaron que la Da fue de 0.075- 0.117 g/cm<sup>3</sup> y Dp de 1.480-1.490 g/cm<sup>3</sup>.

El S4 mostró los valores más altos en Da (0.34 g/cm<sup>3</sup>) y Dp (1.03 g/cm<sup>3</sup>) (Cuadro 1). Al utilizar compostas es importante saber qué restos orgánicos dieron origen al material orgánico. Algunos restos, tales como los estiércoles son transformados por las lombrices rápidamente, a diferencia de los restos de cosecha que por contener mayor cantidad de fibra tardan más tiempo en ser transformados, por lo tanto, varían en su totalidad tanto sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Hernández *et al.*, 2008).

Por ejemplo, Hernández *et al.* (2008) evaluaron las propiedades físicas de la vermicomposta de palma y encontraron que presenta una  $D_a$  de  $0.35 \text{ g/cm}^3$  y  $D_p$  de  $0.82 \text{ g/cm}^3$ ; la  $D_a$  coincide con lo hallado en este trabajo, pero, por otro lado, Martínez y Soriano (2014) determinaron las características físicas de la turba canadiense y encontraron que presenta una densidad aparente de  $0.25 \text{ g/m}^3$  la cual es diferente a lo reportado.

Como se puede observar todos los materiales de origen orgánico y compostados presentan propiedades muy diferentes, sin embargo, en combinación con otros materiales y a partir de las fracciones granulométricas es posible generar un sustrato con las condiciones óptimas para cada cultivo (Burés, 1997).

**Interacción granulometría-componente de sustrato.** En cuanto a la interacción granulometría-componente de sustrato también se presentaron diferencias significativas en todas las variables. En la PT y CRA la interacción Granulometría 1 con vermiculita obtuvo los valores máximos con un promedio de 79.86% y 76.69% respectivamente. La PT es un dato básico e importante en la descripción del material, pero por si sola nada dice respecto al tamaño de dichos poros. Por lo tanto, la relación agua-aire en los sustratos varía ampliamente de acuerdo con los tamaños de las partículas que predominen en su composición, siendo uno de los factores que definen el tamaño de los poros situados entre ellas. Es decir, que la distribución y tamaño de partículas, en combinación con el origen de los sustratos, proporcionan diversas condiciones físicas para el desarrollo de las plantas (Verdock y Demeyer, 2004; Anicua *et al.*, 2009). Por lo tanto, para crear un sustrato se necesita la combinación de diferentes granulometrías y componentes de sustratos con la finalidad de que se generen las propiedades físicas requeridas para el crecimiento adecuado de las plantas (Urbina *et al.* 2006).

**Cuadro 1. Efecto de la granulometría, el componente de sustrato (turba, vermiculita, polvo de coco y composta) y de la combinación granulometría-componente de sustrato sobre las propiedades físicas.**

		PT*	PA	CRA	Da	Dp	
Granulometría (G)							
	G1 <sup>+</sup>	72.11a <sup>#</sup>	3.23 c	68.87 a	0.18 a	0.62 a	
	G2	72.24 a	15.43 b	56.81 b	0.16 b	0.54 b	
	G3	71.72 a	27.51 a	44.21 c	0.13 c	0.46 c	
	DMSH	2.96	2.89	0.95	0.0045	0.020	
Componente de sustrato (S)							
	S1 <sup>&amp;</sup>	77.53 a	18.21 a	59.32 a	0.095 c	0.42 b	
	S2	68.44 b	10.53 c	57.91 b	0.13 b	0.41 b	
	S3	75.51 a	18.38 a	57.13 b	0.069 d	0.29 c	
	S4	66.61 b	14.44 b	52.17 c	0.34 a	1.03 a	
	DMSH	3.76	3.67	1.21	0.0057	0.026	
G x S							
	G1	S1	77.05 abc	2.32 f	74.72 a	0.11 ef	0.51 d
	G1	S2	65.14 d	3.92 f	61.22 bc	0.14 d	0.41 e
	G1	S3	79.86 a	3.17 f	76.69 a	0.08 gh	0.40 ef
	G1	S4	66.39 d	3.53 f	62.85 b	0.38 a	1.14 a
	G2	S1	76.86 abc	21.22 cd	55.64 d	0.09 g	0.41 ef
	G2	S2	69.91 dc	9.68 ef	60.22 bc	0.13 e	0.42 e
	G2	S3	75.62 abc	15.78 de	59.84 c	0.07 h	0.28 g
	G2	S4	66.57 d	15.02 de	51.54 e	0.34 b	1.042 b
	G3	S1	78.69 ab	31.08 ab	47.60 f	0.07 h	0.35f
	G3	S2	70.27adc	17.98cd	52.28e	0.11f	0.39ef
	G3	S3	71.05adc	36.19a	34.86h	0.05i	0.21h
	G3	S4	66.89d	24.77bc	42.11g	0.29c	0.90c
	DMSH		8.42	8.21	2.71	0.0127	0.059
	CV		5.38	24.58	2.20	3.66	5.04

\*PT: porosidad total; PA: porosidad de aireación; CRA: Capacidad de retención de agua; Da: densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>); Dp: densidad de partículas (g/cm<sup>3</sup>).

<sup>+</sup>Granulometría (mm). G1:  $\geq 0.5 - <1.0$ ; G2:  $\geq 1.0 - <2.0$ ; G3:  $\geq 2.0 - <3.36$ .

<sup>&</sup>S1: turba; S2: vermiculita; S3: polvo de coco; S4: composta.

<sup>#</sup>Medias con la misma letra dentro de columna son estadísticamente iguales (Tukey;  $p \leq 0.05$ ).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%).

## Propiedades químicas

**Granulometría.** Se observó que se manifestó una tendencia a disminuir el pH conforme el tamaño de partícula se incrementó, al grado de que la diferencia fue significativa en el tamaño de partícula correspondiente al intervalo G3 (7.59), con respecto a G1 y G2 (Cuadro 2). Es probable que dicho efecto esté relacionado con la superficie específica, es decir, entre menor superficie específica (G3) el pH fue relativamente más ácido. La conductividad eléctrica fue estadísticamente similar sin importar el tamaño de partícula. La concentración de sales solubles totales no fue modificada por la granulometría.

**Componente de sustrato.** El pH se modificó significativamente por la naturaleza química de los componentes de sustratos. En este sentido el S1 presentó un pH ligeramente ácido de 6.77, mientras que el S2 y S3 manifestaron un pH ligeramente alcalino de 7.09 y 7.17 respectivamente, en tanto el S4 fue alcalino (9.99). Martínez y Soriano (2014) reportaron pH de 3.96 para la turba canadiense y pH de 6.97 para polvo de coco. López-Pérez *et al.* (2005) señalan pH de 7.0 para la vermiculita. Vargas *et al.* (2008) hallaron pH en un rango de 5.1-5.6 en polvo de coco. Mientras que Abad *et al.* (2002) muestra que diferentes rangos que van de 4.90-6.14 para el pH en polvo de coco; y para la turba un pH de 3.17. Hernández *et al.* (2008) encontraron pH de 7.42 en bagazo de agave composteado y pH de 8.52 en bagazo de agave vermicomposteado. La diferencia entre el pH de los componentes de sustrato derivado de su origen orgánico y procedencia, así como el manejo durante el composteo hace obligatorio determinar esta propiedad en cada uno de los lotes que se van a utilizar en la preparación de sustratos.

Por orden descendente de concentración, la de mayor CE fue el S3 ( $0.73 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), le siguieron S1 ( $0.47 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), la composta ( $0.31 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) y el de menor CE fue el S2 ( $0.10 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) (Cuadro 2). Lo obtenido con el S1 es similar a Bracho *et al.* (2009) donde reportaron CE de  $0.043\text{-}1.25 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  en diferentes turbas comerciales. Sin embargo, López-Pérez *et al.* (2005) obtuvieron una CE de  $0.19 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  al evaluar la

vermiculita. Vargas *et al.* (2008) hallaron CE de 1.5-4.5 dS·m<sup>-1</sup> en polvo de coco; mientras que Martínez y Soriano (2014) encontraron CE para el polvo de coco de 3.23 dS·m<sup>-1</sup>. Hernández *et al.* (2008) señalaron CE de 1.59 dS·m<sup>-1</sup> en bagazo de agave composteado y CE de 0.56 dS·m<sup>-1</sup> en bagazo de agave vermicomposteado; lo determinado por estos autores es diferente a lo observado en este trabajo.

**Interacción granulometría-componente de sustrato.** Con relación al efecto de la interacción granulometría-componente de sustrato sobre el pH se manifestaron diferencias significativas entre las 12 combinaciones (Cuadro 2). Sin embargo, de los sustratos generados, los que tuvieron S4 presentaron pH de alcalinidad alta (9.97-10.01), mientras que con S3 fueron ligeramente alcalinos (7.12, 7.13 y 7.26), en las tres granulometrías.

Cruz *et al.* (2010) mencionan que las compostas y vermicompostas suelen ser ligeramente más alcalinas por su actividad biológica mientras que los sustratos inertes tienden a tener un pH más neutro. Según las normas de interpretación general para propiedades químicas de sustratos analizados por el método de Extracto de Sustrato Saturado descrito por Warnecke y Kraus-kopf, (1983) se considera pH bajo 3-4, pH adecuado de 5-6 y un pH alto de 7 o más. Es importante proveer a la planta de un sustrato no sólo con un ambiente físico favorable, sino también con características químicas adecuadas, puesto que de ello dependerá el buen desarrollo radical y la absorción de los nutrimentos, ya que el pH influye en una baja o alta solubilidad de los macro y microelementos (Cabrera, 1999).

En cuanto al efecto de la interacción granulometría-componente de sustrato sobre la CE, se manifestaron diferencias significativas. La interacción G1S3 mostró la CE más alta con 0.86 dS·m<sup>-1</sup> y la interacción G3S2 presentó la CE más baja (0.10 dS·m<sup>-1</sup>). El nivel de salinidad se mide por la conductividad eléctrica, por lo tanto, los sustratos pueden presentar cantidades elevadas de sales y así ocasionar problemas a la producción. Así mismo, un exceso de sales solubles puede

remediarse con un lavado (o lixiviado) con agua de baja salinidad (Martínez y Soriano, 2014).

Las recomendaciones generales que se dan en las normas de interpretación general para propiedades químicas de sustratos analizados por el método de Extracto de Sustrato Saturado (Warnecke y Kraus-Kopf, 1983), se mencionan como un nivel bajo de CE de  $0-1.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , nivel adecuado  $1-2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , y un nivel alto de más de  $3.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ . Por otra parte, los niveles óptimos de propiedades químicas deseables en sustratos analizados por el método de lixiviados propuesto por el programa de investigación en cultivos de vivero del Instituto Politécnico y Universidad Estatal de Virginia, Estados Unidos (Wright, 1986) sugieren un nivel de  $0.6-2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ .

Sin embargo, es importante resaltar que los niveles deseables de pH, sales solubles y nutrimentos varían con respecto a la especie de planta, prácticas culturales y su manejo específico; pero otro dato significativo es considerar la calidad del agua de riego, es decir, su composición química ya que está íntimamente vinculada al manejo de las propiedades químicas en un sustrato, y afecta en gran medida el pH del sustrato, la disponibilidad de nutrimentos, la presencia de toxicidades específicas, y los niveles totales de sales solubles. Si bien hay ciertas medidas que pueden ayudar a disminuir los efectos de salinidad como mantener el sustrato húmedo, nunca hacer aplicaciones de fertilizante granular o soluciones nutritivas concentradas cuando el sustrato esté seco, y reduciendo la demanda evaporativa usando malla sombra y/o elevando la humedad relativa (Cabrera, 1999).

**Cuadro 2. Efecto de la granulometría, componente de sustrato (turba, vermiculita, polvo de coco y composta), y de la interacción granulometría-componente de sustrato de las propiedades químicas.**

			*pH	CE(dS·m <sup>-1</sup> )
Granulometría (G)				
	G1 <sup>+</sup>		7.91 a	0.42 a
	G2		7.76 a	0.36 a
	G3		7.59 b	0.44 a
	DMSH		0.153	0.101
Componente de sustrato (S)				
	S1 <sup>&amp;</sup>		6.77 c	0.47 b
	S2		7.09 b	0.10 d
	S3		7.17 b	0.73 a
	S4		9.99 a	0.31 c
	DMSH		0.195	0.128
G x S				
	G1	S1	6.70 ed	0.34 cd
	G1	S2	7.83 b	0.12 d
	G1	S3	7.12 cd	0.86 a
	G1	S4	10.01 a	0.33 cd
	G2	S1	6.93 cd	0.28 cd
	G2	S2	7.00 cd	0.10 d
	G2	S3	7.13 c	0.76 ab
	G2	S4	9.99 a	0.31 cd
	G3	S1	6.69 ed	0.80 ab
	G3	S2	6.43 e	0.10 d
	G3	S3	7.26 c	0.56 bc
	G3	S4	9.97 a	0.29 cd
	DMSH		0.436	0.287
	CV		2.59	32.35

\*CE: Conductividad eléctrica

<sup>+</sup>Granulometría (mm). G1:  $\geq 0.5 - 1.0$ <; G2:  $\geq 1.0 - 2.0$ <; G3:  $\geq 2.0 - 3.36$ <.

<sup>&</sup>S1: turba, S2: vermiculita; S3: polvo de coco; S4: composta.

<sup>#</sup>Medias con letras iguales en columna son estadísticamente similares (Tukey;  $p \leq 0.05$ ). DMSH: diferencia mínima significativa honesta. CV: coeficiente de variación (%).

## 2.6 CONCLUSIONES

La G3, obtuvo una PA de 27.51 % que es superior con relación a granulometrías más pequeñas, al mismo tiempo que disminuyó la CRA a 44.21 %, esto quiere decir que mientras más grande sea el tamaño de partícula, se reduce la capacidad del sustrato para retener agua.

La interacción G1S3 obtuvo los valores máximos en la PT y CRA con un promedio de 79.86% y 76.69% respectivamente.

El tamaño de partícula también influyó en el pH; pues se manifestó una tendencia a disminuir el pH conforme el tamaño de partícula se incrementó. Y la mayor CE se encontró en el S3 y en la interacción G1S3 con  $0.73 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  y  $0.86 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  respectivamente.

Se puede señalar que las propiedades físicas y químicas de los sustratos son modificadas tanto por la granulometría como por el tipo de material (orgánico o inorgánico), al igual que por la combinación granulometría-material; por lo tanto, es posible generar sustratos con propiedades físicas y químicas específicas para el desarrollo de las plantas a través de la combinación de materiales orgánicos e inorgánicos en diferentes granulometrías.

## 2.7 LITERATURA CITADA

- Abad, M.; Noguera, P.; Puchades, R.; Maquieira, A., Noguera, V. 2002. Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants. *Bioresource technology*, 82(3):241-245.
- Abad, M.; Fornes, F.; Carrion, C.; Noguera, P.; Maquieira, A., Puchades, R. 2005. Physical properties of various coconut coir dust compared to peat. *HortScience*. 40(7):2138-2144.
- Andreau, R.; Giménez, D. y Beltrano, J. 2015. Soluciones nutritivas II. Cultivo en Hidroponía. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires, Argentina. P. 91-108pp
- Anicua, S. R.; Gutiérrez, C. M.; Sánchez, G. P.; Ortiz, S. C.; Volke, H. V. H. y Rubiños, P. J. E. 2009. Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. *Agricultura técnica en México*. 35(2): 147-156.
- Burés, S. 1997. *Sustratos*. Ediciones Agrotecnicas. Madrid, España. 217p.
- Bracho, J.; Pierre, F. y Quiroz, A. I. 2009. Caracterización de componentes de sustratos locales para la producción de plántulas de hortalizas en el estado Lara, Venezuela. *Bioagro*, 21(2):117-124.
- Cabrera, R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5(1):5-11.
- Campos, M. L.; Van M. U. y Blok, C. 2009. Comparison of the physical properties of vermicompost from paper mill sludge and green compost as substitutes for peat-based potting media. *Acta Horticulturae* 819(1):227-234.
- Cruz, C. E.; Sandoval V. M.; Volke H. V.; Ordaz C. V.; Tirado T. J. L. y Sánchez E. J. 2010. Generación de mezclas de sustratos mediante un programa de optimización utilizando variables físicas y químicas. *Terra Latinoamericana* 28(3):219-229.

- Cruz-Crespo E.; Can-Chulim, A.; Sandoval-Villa, M.; Bugarín-Montoya, R.; Robles-Bermúdez, A. y Juárez-López, P. 2013. Sustratos en la horticultura. Revista bio ciencias 2(2):17-26. <https://doi.org/10.15741/revbio.02.02.03>
- Domínguez, E.; Bahamonde, N. y Muñoz-Escobar, C. 2012. Efectos de la extracción de turba sobre la composición y estructura de una turbera de *Sphagnum* explotada y abandonada hace 20 años. Chile. Anales del Instituto de la Patagonia. 40(2):37-45. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-686X2012000200003>
- Fernández, B.C.; Urdaneta, N.; Silva, W.; Poliszuk, H. y Marín, M. 2006. Germinación de semillas de tomate (*lycopersicon esculentum mill.*) Cv. Rio grande sembradas en bandejas plásticas utilizando distintos sustratos. Revista de la Facultad de agronomía 23(2):188-195.
- García, O. C.; Alcántar, G.; Cabrera, R. I.; Gavi, F. y Volke, V. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. Terra latinoamericana 19(3):249-258.
- Hernández, A.; Jacqueline, A.; Guerrero, L.; Francisca, M. I. C.; Luís, E.; Bárcenas, B.; Juan, M. y Salas, E. 2008. Caracterización física según granulometría de dos vermicompost derivados de estiércol bovino puro y mezclado con residuos de fruto de la palma aceitera. Interciencia. 33(9):668-671.
- López-Pérez, L.; Cárdenas-Navarro, R. L. P.; Martínez-Castro, O. y Escalante-Linares, O. 2005 Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía. Revista Fitotecnia Mexicana. 28(2):171-174.
- Martínez, P. R. y Soriano F., A. R. 2014. Propiedades físicas y químicas de los sustratos. Folleto Técnico 11. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Colima, México. 2p
- Mundo, O., J. 2006. El vivero ornamental. Taller de imprenta universitaria UAEM. 416p.
- Ortega-Martínez, L. D.; Sánchez-Olarte, J.; Ocampo-Mendoza, J.; Sandoval-Castro, E.; Salcido-Ramos, B. A. y Manzo-Ramos, F. 2010. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum Mill.*) bajo condiciones de invernadero. Ra Ximhai 6(3):339-346.

- Pastor, S. J. N. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra Latinoamericana* 17(3):231-235.
- Pire, R. y Pereira A. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. propuesta metodológica. *Bioagro* 15(1):55-64.
- Puerta, C. E.; Russián, T. y Ruiz, C. A. 2012. Producción de plántulas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en sustratos orgánicos a base de mezclas con fibra de coco. *Revista Científica UDO Agrícola*. 12(2):298-306.
- Urbina, S. E. G. A.; Baca, C. R.; Núñez, E. M.; Colinas, L. T.; Tijerina, Ch. L. y Tirado, J. L. T. 2006. Cultivo hidropónico de Plántulas de jitomate en zeolita cargada con  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  o  $Mg^{2+}$  y diferentes granulometrías. *Agrociencia* 40(4):419-429.
- Vargas, T. P.; Ramos, J. Z. C.; García, P. S.; Chávez, L. T.; Romero, R. M. L. y Arredondo, J. L. O. 2008. Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Revista fitotecnia mexicana*. 31(4):375-381.
- Villegas, T. O. G.; Albavera P., M H. Sotelo N.; M. Andrade R.; M. L. Domínguez P.; M. G. Martínez R.; M. Aguilar C.; C. Castillo C.; M. Del C. Magadan S. 2017. Sustrato como material de última generación. Morelos, México. Ed. OmniaScience. 62 p.
- Verdonck, O. y Demeyer, P. 2004. The influence of the particle sizes on the physical properties of growing media. *Acta Horticulturae*. 644(1):99-101. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.644.10>
- Warnecke, D.D.; y Krauskopf, D.M. 1983. Greenhouse growth media: Testing and nutrition guidelines, Extension Bulletin E-1736. Cooperative Extension Service, Michigan State University.
- Wright, R.D. 1986. The pour-through nutrient extraction procedure. *HortScience* 21(2):227-229

### CAPÍTULO 3

## CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRESA (*FRAGARIA X ANANASSA DUCH*) POR EFECTO DEL RÉGIMEN NUTRIMENTAL

### 3.1 RESUMEN

La fresa es un fruto muy consumido a nivel mundial, en México se producen 9,223,815 t. El objetivo de la investigación fue determinar el régimen nutrimental que favorece el crecimiento, rendimiento y calidad física y bioquímica de fresa producida en hidroponía bajo cubierta plástica. En 2017 se realizó un experimento en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, en el que se evaluaron 27 regímenes nutrimentales conformados por la combinación de variaciones de la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la fase vegetativa (10, 12 y 14 me  $\text{L}^{-1}$ ),  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  en la fase reproductiva (0.75, 1.00 y 1.25 me  $\text{L}^{-1}$ ) y  $\text{K}^+$  en la fase de fructificación (5, 7 y 9 me  $\text{L}^{-1}$ ). Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental bloques completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento. La unidad experimental fue un contenedor de polietileno negro (15.14 L), con tezontle rojo como sustrato y una planta de fresa. Los resultados indicaron que las plantas de fresa producidas en hidroponía con régimen nutrimental manifestaron respuesta significativamente diferente en el contenido relativo de clorofila, área foliar, biomasa seca de hojas, diámetro de flor, longitud y diámetro ecuatorial del fruto, peso promedio del fruto, rendimiento por planta y concentración de sólidos solubles totales en fruto, en función de las concentraciones de  $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{K}^+$ ; en las fases vegetativa, reproductiva y de fructificación, respectivamente. El régimen nutrimental de 10 meq  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  en la fase vegetativa, 1.00 meq  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  en la reproductiva y 7 meq  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{K}^+$  en fructificación, es el recomendable para producir fresa en hidroponía porque incrementó de forma significativa el diámetro del fruto y el rendimiento por planta.

**Palabras clave:** fase vegetativa, fase reproductiva, fase de fructificación, cultivos sin suelo.

## 3.2 ABSTRACT

### Abstract

The strawberry is a fruit widely consumed worldwide, in Mexico 9,223,815 t are produced. The aim of the research was to determine the nutritional regime that favors the growth, yield and physical and biochemical quality of strawberries produced in hydroponics under plastic cover. In 2017, an experiment was carried out in the experimental field of the Faculty of Agricultural Sciences of the Autonomous University of the State of Morelos, in which 27 nutritional regimes made up of the combination of variations in the concentration of  $\text{NO}_3^-$  in the vegetative phase (10, 12 and 14 meq  $\text{L}^{-1}$ ),  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  in the reproductive phase (0.75, 1.00 and 1.25 meq  $\text{L}^{-1}$ ) and  $\text{K}^+$  in the fruiting phase (5, 7 and 9 meq  $\text{L}^{-1}$ ) were evaluated. Treatments were distributed in a completely randomized experimental block design with four replications per treatment. The experimental unit was a black polyethylene container (15.14 L), with red tezontle as substrate and a strawberry plant. The results indicated that the strawberry plants produced in hydroponics with nutritional regimen showed a significantly different response in the relative content of chlorophyll, leaf area, dry biomass of leaves, flower diameter, length and equatorial diameter of the fruit, average weight of the fruit, yield per plant and total soluble solids concentration in fruit, depending on the concentrations of  $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{K}^+$ ; in the vegetative, reproductive and fruiting phases, respectively. The nutritional regime of 10 meq  $\text{L}^{-1}$  of  $\text{NO}_3^-$  in the vegetative phase, 1.00 meq  $\text{L}^{-1}$  of  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  in the reproductive and 7 meq  $\text{L}^{-1}$  of  $\text{K}^+$  in the fruiting phase, is recommended for producing strawberry in hydroponics because the diameter of the fruit and the yield per plant increased significantly.

**Keywords:** vegetative phase, reproductive phase, fruiting phase, soilless culture.

### 3.3 INTRODUCCIÓN

La fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) tiene gran demanda en México y en el mundo, sobre todo en países desarrollados; tan sólo en México se producen 9,223,815 t (Romero-Romano *et al.*, 2012; FAOSTAT, 2020). Los principales estados productores son: Michoacán, Baja California, Baja California Sur, Estado de México y Morelos (SIAP, 2020a). Por la importancia del consumo de la fresa en fresco, es de suma relevancia la calidad física y sobre todo bioquímica, por el aporte de azúcares, minerales, compuestos nutraceuticos como fenoles y flavonoides, los cuales tienen propiedades antioxidantes con capacidad de capturar radicales libres (Vásquez *et al.*, 2007; Luna-Zapién *et al.*, 2016). Llacuna y Mach (2012) refieren que los productos vegetales con alto contenido nutraceutico son importantes para la salud humana al promover el equilibrio fisiológico, así como la reducción del riesgo de desarrollo de enfermedades crónico-degenerativas, diabetes y cáncer.

Para obtener los parámetros de calidad en los frutos de fresa es importante controlar el régimen nutrimental durante el ciclo de cultivo (Jara y Suni, 1999; Avitia-García *et al.*, 2014), es decir, el suministro de macro y micronutrientes de acuerdo a la fase fenológica. En esta investigación se consideraron los criterios de Stenier (1984) sobre las relaciones mutuas entre aniones ( $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$ ) y de cationes ( $\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$ ), además de mantener constante la concentración total de aniones ( $20 \text{ meq L}^{-1}$ ) y la de cationes ( $20 \text{ meq L}^{-1}$ ).

El nitrógeno es uno de los nutrimentos más limitantes en la producción de fresa; de tal modo que los agricultores aplican dosis elevadas de fertilización nitrogenada con el propósito de obtener rendimientos sobresalientes (Cárdenas-Navarro *et al.*, 2004), por lo cual se incrementan los costos de producción y la contaminación de los mantos freáticos por la lixiviación de nitratos (Vásquez-Gálvez *et al.*, 2008). El N tiene una función esencial en el crecimiento vegetativo, productividad y calidad de la frutilla; sus funciones son de tipo estructural y osmótico. Este nutrimento se absorbe principalmente en forma de  $\text{NO}_3^-$ . Si se presentan deficiencias se

disminuye el vigor de las plantas y la productividad, pero mejora la calidad organoléptica de la fruta; por otro lado, si existe un exceso de N se induce deficiencia de Zn (Kirschbaum y Borquez, 2006; Eyal, 2008; Chávez- Sánchez *et al.*, 2014).

El fósforo es un nutriente esencial para las plantas, aunque es un elemento poco móvil en el suelo, beneficia a la planta estimulando el desarrollo radical y la floración, al ser constitutivo primario de los sistemas responsables de la captación, almacenamiento y transferencia de energía. Forma parte de las estructuras de macromoléculas esenciales, tales como ácidos nucleicos y fosfolípidos, por lo que participa en todos los procesos fisiológicos. Las plantas lo absorben como ion ortofosfato primario ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) o como ortofosfato secundario ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) (Fernández, 2007). Este elemento interviene en procesos bioquímicos tales como: biogénesis de glucósidos, biosíntesis de lípidos, clorofilas y compuestos carotenoides, en la glucólisis y el metabolismo de los ácidos orgánicos; lo cual se traduce en la acidez, aroma y color de los frutos (Díaz *et al.*, 2017). La deficiencia de P disminuye el número y diámetro de las flores provocando una reducción de 50 % en el rendimiento, se atrasa la maduración, decrece el tamaño y firmeza de los frutos, además baja el contenido de vitamina C; pero altos niveles de P inducen deficiencia de Zn y se inactiva al Fe (Kirschbaum y Borquez, 2006; Eyal, 2008; Díaz *et al.*, 2017).

El potasio es conocido como el nutriente de calidad por su efecto en el tamaño, forma, color, sabor y la resistencia de almacenamiento que confiere a los frutos (Chávez-Sánchez *et al.*, 2014). Está involucrado en la absorción de agua por las raíces, influye en la fotosíntesis y regula la apertura de estomas; es componente estructural de la lignina y la celulosa; también afecta los contenidos de almidón y azúcares; está involucrado en la resistencia a enfermedades e insectos. Es absorbido por la planta como  $\text{K}^+$ , es un elemento móvil en las plantas, su disponibilidad es crítica en hojas y frutos en crecimiento. La deficiencia induce disminución del vigor, rendimiento y de la calidad de fruta por afectar la

pigmentación (Kirschbaum y Borquez, 2006). El K incide directamente en la calidad del fruto dado que altos niveles incrementan la pudrición apical y reducen la firmeza de las paredes celulares (Hernández *et al.*, 2009).

México cuenta con 14,771 ha cultivadas de *berries* (fresa, frambuesa, zarzamora y arándano) en macrotunel. De la superficie anterior, 11,091 ha están ocupadas con fresa, el 89.78 % está mecanizada y 65.63 % cuenta con tecnología de sanidad vegetal (SIAP, 2020b). Este sistema tecnificado permite obtener 50 % más de rendimiento en comparación con el cultivo tradicional (a cielo abierto y con labores agrícolas manuales), además de prolongar el periodo de cosecha (SAGARPA, 2016). La producción de fresa en sistemas tecnificados también permite controlar el régimen nutrimental, es decir, la cantidad de nutrimentos para cada fase fenológica de la fresa y con ello optimizar el desarrollo, rendimiento y calidad de los frutos (Manqueros-Avilés, 2015).

### **Objetivo**

Determinar el régimen nutrimental para favorecer el crecimiento, rendimiento y calidad física y bioquímica de fresa producida en sistema sin suelo bajo cubierta plástica.

## **3.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.4.1 Ubicación de los experimentos**

El experimento se desarrolló en un invernadero del campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (18°58'51" N, 99°13'57" O, 1868 msnm) en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México, en el periodo de abril de 2016 a marzo de 2017.

### **3.4.2 Material vegetal**

Se utilizaron plantas de *Fresa x ananassa* var. San Andreas la cual es una variedad de día neutro de excelente calidad de frutos, con poca necesidad de frío en vivero y resistente a enfermedades, precoz (plantación de otoño), su producción es estable durante todo el ciclo, mantiene su tamaño todo el tiempo con buena producción; produce menos estolones que la variedad Albión cuando está en producción de fruta (Eurosemillas, 2020). Se eligió esta variedad porque producen fruta a través de toda la estación de crecimiento. Estas plantas son ideales para tenerlas en espacios limitados.

### **3.4.3 Diseño experimental**

Para evaluar el crecimiento de las plantas, rendimiento y calidad de la fresa en función del régimen nutrimental se estudiaron 27 tratamientos (regímenes nutrimentales), de los cuales el tratamiento 14 fue el testigo, correspondiente a la solución nutritiva universal (Steiner, 1984; SNU). Los tratamientos (Cuadro 1) se distribuyeron en el espacio conforme a un diseño experimental bloques completos al azar con cuatro repeticiones por tratamiento.

**Cuadro 1. Regímenes nutrimentales en la producción de fresa en hidroponía bajo cubierta plástica.**

Régimen nutrimental	Fase vegetativa	Fase reproductiva	Fase de fructificación
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq L <sup>-1</sup> )	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (meq L <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup> (meq L <sup>-1</sup> )
1	10	0.75	5
2	10	0.75	7
3	10	0.75	9
4	10	1.00	5
5	10	1.00	7
6	10	1.00	9
7	10	1.25	5
8	10	1.25	7
9	10	1.25	9
10	12	0.75	5
11	12	0.75	7
12	12	0.75	9
13	12	1.00	5
14	12	1.00	7
15	12	1.00	9
15	12	1.25	5
17	12	1.25	7
18	12	1.25	9
19	14	0.75	5
20	14	0.75	7
21	14	0.75	9
22	14	1.00	5
23	14	1.00	7
24	14	1.00	9
25	14	1.25	5
26	14	1.25	7
27	14	1.25	9

### 3.4.4 Manejo del experimento

La fase vegetativa, considerada desde el trasplante hasta que el 50 % de las plantas presentaron 10 hojas verdaderas y apareció la primera flor, se modificó el  $\text{NO}_3^-$  (10, 12 y 14 meq  $\text{L}^{-1}$ ) manteniendo constantes las relaciones mutuas  $\text{SO}_4^{2-}:\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (7:1). En la fase reproductiva, desde que 50 % de las plantas presentaron la aparición de la primera flor hasta la aparición del primer fruto ( $10 \pm 1$  mm de longitud) se modificó el  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (0.75, 1.00 y 1.25 meq  $\text{L}^{-1}$ ) manteniendo constantes las relaciones mutuas de  $\text{NO}_3^-:\text{SO}_4^{2-}$  (12:7). En la fase de fructificación, desde que el primer fruto tuvo  $10 \pm 1$  mm de longitud hasta el término de la cosecha, se varió la concentración de  $\text{K}^+$  (5, 7 y 9 meq  $\text{L}^{-1}$ ) manteniendo constantes las relaciones mutuas de  $\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$  (9:4).

Las soluciones nutritivas se prepararon con agua potable, previo análisis físico-químico, y con fertilizantes altamente solubles (nitrato de potasio, nitrato de calcio, sulfato de potasio, fosfato monopotásico y sulfato de magnesio); además, en cada régimen se incorporaron los micronutrientes: Fe, 8 mg  $\text{L}^{-1}$  (fuente Fe-EDTA);  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 2.88 mg  $\text{L}^{-1}$ ; Mn, 0.502 mg  $\text{L}^{-1}$  ( $\text{MnCl}_2$ ); Zn, 0.050 mg  $\text{L}^{-1}$  ( $\text{ZnSO}_4$ ); Cu, 0.045 mg  $\text{L}^{-1}$  ( $\text{CuSO}_4$ ); Mo, 0.010 mg  $\text{L}^{-1}$  ( $\text{H}_2\text{MoO}_4$ ). El pH se ajustó de 5.5-5.8 con  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

La unidad experimental fue un contenedor de polietileno negro de 15.14 L (25.5 cm de diámetro por 30 cm de altura) y se utilizó tezontle rojo de granulometría  $\leq 0.5$  cm de diámetro como sustrato, el cual es considerado inerte desde el punto de vista químico (Ojodeagua *et al.*, 2008). En cada unidad experimental se colocó una planta de fresa con cuatro hojas verdaderas. Se aplicaron cuatro riegos por día se realizaron mediante un sistema de riego por goteo (con gotero autocompensable marca Netafim y caudal de 8  $\text{L h}^{-1}$ ) controlados con un temporizador. Durante el experimento se registró la humedad relativa, intensidad luminosa y temperatura con ayuda de un datalogger (Hobo®, Massachusetts, USA).

### **3.4.5 Variables de respuesta**

Las variables de respuesta fueron: contenido relativo de clorofila se midió con un SPAD-502 (Konica Minolta) a partir de la cuarta hoja hasta finalizar el experimento; número total de hojas se contabilizó al finalizar el experimento; el área foliar se determinó con un integrador de área foliar (LI-COR, LI3-100C). El volumen de raíz se determinó mediante la técnica de desplazamiento de agua, para ello se utilizó una probeta graduada de 2 L con un volumen conocido de agua, la diferencia de volúmenes al introducir la raíz en el agua correspondió al volumen de este órgano; para obtener la biomasa seca de hojas y de raíz, estos órganos se colocaron en una estufa de circulación forzada de aire (Lanphan, DHG9070A) a una temperatura de 72 °C durante 72 h y posteriormente se pesaron en una balanza digital (Ohaus, CS 2000).

También se registró el número de flores por planta y diámetro de flor cada semana desde los 60 hasta 270 días después del trasplante (ddt). Los frutos se empezaron a cosechar a los 85 ddt cuando presentaron color rojo intenso de acuerdo con la NMX-FF-062-SCFI-2002, se realizó un corte por semana hasta los 270 ddt. Una vez cosechados, los frutos se contaron y se pesaron en una báscula digital. El peso total se dividió entre el número de frutos de cada planta y se obtuvo la biomasa promedio por fruto. La longitud de fruto se midió desde el cáliz hasta el ápice con un vernier (Truper) al igual que el diámetro en la parte media del fruto; mientras que el rendimiento por planta se obtuvo con la suma de lo cosechado hasta 270 ddt. En los frutos completamente rojos se determinó la concentración de sólidos solubles totales (CSST) con un refractómetro portátil (Pocket refractometer Pal-1, Atago, Tokio, Japan).

### **3.4.6 Análisis estadístico**

A todos los datos se les realizó análisis de varianza con el programa SAS (Versión 6.12) y a los que mostraron diferencia estadística significativa se les aplicó la prueba de comparación múltiple de medias Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

### 3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza ( $p \leq 0.05$ ) realizado a las variables de crecimiento, producción y calidad de frutos indicó que al menos un régimen nutrimental ejerció efecto estadísticamente significativo en el contenido relativo de clorofila, área foliar, biomasa seca de hojas, diámetro de flor, longitud y diámetro del fruto, biomasa promedio del fruto, rendimiento por planta y concentración de sólidos solubles totales en fruto. Las variables que no mostraron efecto estadístico significativo ( $p \leq 0.05$ ) fueron el número de hojas, volumen de raíz, biomasa seca de raíz y número de flores por planta (datos no publicados), lo cual indica que dichas características están más influenciadas por el componente genético que el nutrimental, puesto que todos los tratamientos estuvieron en el mismo ambiente físico-químico (temperatura, intensidad luminosa, humedad relativa, disponibilidad de solución nutritiva en el sustrato, entre otros).

El contenido relativo de clorofila expresado en unidades SPAD, fue de 47.71 en el régimen nutrimental (en meq L<sup>-1</sup>) de 14:1.25:9 de NO<sub>3</sub>:H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>:K<sup>+</sup> aplicado en las tres fases de crecimiento vegetativa, 8.03 % superior que en las plantas con el régimen 10:0.75:7, las cuales presentaron el menor valor (44.16); las plantas de los demás tratamientos, incluyendo el testigo, presentaron valor similar (46.39 % en promedio) (Cuadro 2). El contenido relativo de clorofila es un indicador entre la relación del grado de abastecimiento y disponibilidad de nutrientes; Juárez-Rosete *et al.* (2007) reportan lecturas de hasta 43.23 SPAD, cultivando la planta con la solución nutritiva Steiner; también mencionan que conforme transcurrió el ciclo de cultivo, las lecturas SPAD disminuyeron en las distintas fases fenológicas de la fresa cv. Chandler.

El número de hojas vario de 4.94 a 6.13, sin diferencias estadísticas por efecto del régimen nutrimental. Respecto al área foliar, esta fue mayor (1819.92 cm<sup>2</sup>), cuando se aplicó en régimen 12:0.75:7, 165 % fue más con respecto a las plantas que recibieron 10:1.25:5 y 12:1.25:5 (686.75 cm<sup>2</sup>, en promedio), mismas que

produjeron la menor área (Cuadro 2). Este resultado difiere con lo obtenido por Caso *et al.* (2010) quienes reportan área foliar de 920.52 cm<sup>2</sup> en fresa cultivada en sustrato de piedra pómez (100 %) y con la solución nutritiva La Molina. Por su parte, Casierra-Posada y Poveda (2005) obtuvieron área foliar de 600 cm<sup>2</sup> al cultivar la fresa var. Camarosa con fertilizante compuesto de alta solubilidad. Tal diversidad de valores en el área foliar de fresa, puede deberse al efecto tanto de la nutrición como de la variedad, aspectos a considerar en el caso de establecer un cultivo a nivel comercial.

En relación con la acumulación de biomasa, como un parámetro para cuantificar el crecimiento (Urrestarazu *et al.*, 1999; Villegas-Torres *et al.*, 2005), se presentó diferencia significativa en hojas. El régimen nutrimental que propició (26.75 g) a esta variable fue 14:1:7, con el cual se representó un incremento de 148 % en comparación con las plantas que tuvieron menor crecimiento (10.75 g) nutridas con el régimen 12:1.25:5 (Cuadro 2). Caso *et al.* (2010) reportaron biomasa seca de hojas de 3.8 g, esto en fresas cultivadas con el sustrato piedra pómez y solución hidropónica La Molina.

**Cuadro 2. Características morfológicas y acumulación de biomasa en plantas de fresa en respuesta al régimen nutrimental.**

Régimen nutrimental (meq L <sup>-1</sup> )	CRC (SPAD)	NHPP (Núm)	AF (cm <sup>2</sup> )	VR (cm <sup>3</sup> )	BSH (g)	BSR (g)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> :H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> :K <sup>+</sup>						
10:0.75:5	45.14 ab	5.60 a	922.10 ab	116.25 a	20.75ab	29.50a
10:0.75:7	44.16 b	5.36 a	1099.85 ab	97.00 a	22.00ab	20.75a
10:0.75:9	45.94 ab	5.84 a	1118.21 ab	137.00 a	17.00abc	36.50a
10:1.00:5	45.25 ab	5.37 a	1074.76 ab	140.25 a	21.00abc	32.25a
10:1.00:7	44.79 ab	5.89 a	1306.50 ab	132.25 a	25.00ab	30.25a
10:1.00:9	45.35 ab	5.40 a	1044.93 ab	140.00 a	20.00abc	37.75a
10:1.25:5	45.07 ab	5.64 a	706.05 b	100.00 a	16.50abc	26.00a
10:1.25:7	45.18 ab	4.94 a	1183.06 ab	102.50 a	20.50abc	24.75a
10:1.25:9	45.43 ab	5.12 a	936.44 ab	121.50 a	21.50abc	32.25a
12:0.75:5	44.43 ab	5.20 a	925.98 ab	97.50 a	16.50abc	24.25a
12:0.75:7	44.50 ab	5.75 a	1819.92 a	125.00 a	21.00abc	33.75a
12:0.75:9	44.60 ab	5.97 a	1461.48 ab	145.00 a	18.50abc	37.75a
12:1.00:5	44.69 ab	6.13 a	1037.43 ab	78.25 a	12.25bc	20.50a
12:1.00:7*	46.39 ab	5.55 a	1338.85 ab	122.75 a	18.50abc	31.25a
12:1.00:9	46.22 ab	5.78 a	953.76 ab	95.00 a	15.75abc	23.25a
12:1.25:5	46.69 ab	5.76 a	667.46 b	90.00 a	10.75c	22.75a
12:1.25:7	46.23 ab	5.63 a	1243.37 ab	120.00 a	18.00abc	30.25a
12:1.25:9	46.43 ab	5.62 a	925.02 ab	120.00 a	14.50abc	30.00a
14:0.75:5	45.30 ab	5.34 a	1165.36 ab	112.50 a	18.00abc	36.00a
14:0.75:7	46.07 ab	6.06 a	1303.46 ab	95.00 a	20.75abc	20.50a
14:0.75:9	46.74 ab	5.86 a	1310.71 ab	127.50 a	22.25abc	33.25a
14:1.00:5	46.34 ab	5.69 a	1100.25 ab	117.50 a	20.25abc	29.00a
14:1.00:7	46.44 ab	5.75 a	1407.53 ab	115.00 a	26.75a	26.75a
14:1.00:9	46.32 ab	5.56 a	1141.36 ab	120.00 a	18.25abc	26.25a
14:1.25:5	45.74 ab	5.7 5a	1032.70 ab	117.50 a	18.50abc	25.25a
14:1.25:7	45.66 ab	5.42 a	963.13 ab	85.00 a	15.25abc	19.25a
14:1.25:9	47.71 a	5.47 a	1137.51 ab	110.00 a	20.50abc	24.50a
DMSH	3.38	1.33	1023.6	7.21	12.93	22.79
CV (%)	2.73	8.80	33.60	23.33	25.22	29.68

\*Régimen correspondiente al tratamiento testigo. CRC: contenido relativo de clorofila; NHPP: hojas por planta; AF: área foliar por planta; VR: volumen de raíz; BSH: biomasa seca de hojas; BSR: biomasa seca de raíz; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación. Medias con la misma literal en columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

Con respecto al tamaño de flor, el régimen 14:0.75:7 favoreció que las plantas presentaran flores más grandes (2.37 cm de diámetro), una diferencia de 37.79 % con respecto al diámetro de flor de las fresas nutridas con 10:1.25:5. La fructificación inició diez días después de la floración, mientras que la cosecha duró 185 días.

El régimen 14:0.75:9 indujo a la fresa a producir el mayor número de frutos por planta (12.67); la diferencia fue de 66.05 % mayor con respecto a las plantas nutridas con 10:0.75:7 (Cuadro 3). Caso *et al.* (2010) reportaron 68.17 frutos por planta en un periodo de 270 días en fresas cultivadas en piedra pómez utilizando la solución nutritiva hidropónica La Molina. La cantidad de frutos producidos por las plantas puede variar puesto que temperaturas de 24 a 32 °C provocan en algunas plantas aborto de frutos, por lo tanto, disminuye la cantidad de la fruta (Taylor, 2002, Romero-Romano *et al.*, 2012).

**Cuadro 3. Componentes de rendimiento y concentración de sólidos solubles totales en frutos de fresa por efecto del régimen nutrimental.**

Régimen nutrimental (meq L <sup>-1</sup> )	DF (cm)	NFRU	LF (cm)	DFR (cm)	PPF (g)	RPP (g)	CSST (°Brix)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> :H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> :K <sup>+</sup>							
10:0.75:5	1.93abc	10.17abc	2.65bc	2.44abc	8.06bcd	149.34abc	9.20abc
10:0.75:7	1.98abc	7.63c	3.28abc	2.85a	12.37ab	147.32abc	7.05abcde
10:0.75:9	1.96abc	10.61ab	2.76abc	2.40abc	7.82bcd	139.35abc	9.13abcde
10:1.00:5	2.00abc	10.06abc	2.96abc	2.53abc	9.33a-d	188.40abc	7.47abcde
10:1.00:7	1.75bc	9.94abc	3.34abc	2.91a	11.97a-d	289.28a	6.59abcde
10:1.00:9	2.04abc	9.45abc	2.83abc	2.46abc	8.31bcd	127.43abc	7.44abcd
10:1.25:5	1.72c	9.73abc	2.62bc	2.17c	6.13d	82.12bc	6.00abcde
10:1.25:7	1.91abc	7.82bc	3.59a	2.96a	15.15a	128.67abc	10.13ab
10:1.25:9	1.79abc	9.69abc	3.11abc	2.61abc	10.14a-d	146.13abc	6.95abcde
12:0.75:5	2.08abc	8.37abc	3.15abc	2.78abc	11.29a-d	261.20ab	6.23abcde
12:0.75:7	1.98abc	8.89abc	3.18abc	2.76abc	11.03a-d	227.65abc	6.05abcde
12:0.75:9	1.82abc	10.16abc	3.14abc	2.63abc	10.19a-d	163.01abc	3.37cde
12:1.00:5	2.17abc	8.35abc	3.37ab	2.94a	12.18abc	260.18ab	5.63bcde
12:1.00:7	1.90abc	10.01abc	3.11abc	2.66abc	10.17a-d	219.90abc	6.22abcde
12:1.00:9	2.18abc	9.62abc	2.95abc	2.61abc	9.55a-d	218.57abc	6.85abcde
12:1.25:5	1.80abc	8.48abc	2.46c	2.18abc	6.33dc	83.07bc	4.19cde
12:1.25:7	1.98abc	8.70abc	3.20abc	2.83ab	12.31abc	198.88abc	6.96abcde
12:1.25:9	1.90abc	10.49abc	2.57bc	2.42abc	7.56bcd	127.25abc	4.67bcde
14:0.75:5	1.88abc	10.55abc	3.03abc	2.56abc	9.20a-d	135.55abc	7.07abcde
14:0.75:7	2.37a	8.48abc	3.30abc	2.94a	12.64ab	127.93abc	3.99cde
14:0.75:9	1.91abc	12.67a	3.06abc	2.62abc	9.48a-d	174.09abc	5.69bcde
14:1.00:5	2.14abc	10.36abc	3.00abc	2.52abc	9.36a-d	146.00abc	1.45e
14:1.00:7	2.31ab	12.36ab	3.12abc	2.63abc	10.36a-d	192.81abc	5.15bcde
14:1.00:9	1.97abc	11.30abc	3.08abc	2.47abc	8.48bcd	68.51c	9.10bcde
14:1.25:5	1.98abc	9.47abc	2.94abc	2.42abc	8.01bcd	107.49abc	11.75a
14:1.25:7	1.93abc	8.98abc	2.98abc	2.49abc	9.21a-d	151.10abc	3.91cde
14:1.25:9	1.93abc	11.78abc	2.73abc	2.47abc	8.00bcd	163.92abc	3.41de
DMSH	0.58	4.71	0.88	0.66	6.02	185.4	5.81
CV (%)	10.99	17.76	10.77	9.41	22.66	41.70	34.02

\*Régimen correspondiente al tratamiento testigo. DF: diámetro de flor; NFRU: número de frutos por planta; LF: longitud de fruto; DFR: diámetro de fruto; PPF: peso promedio por fruto; RPP: rendimiento promedio por planta; CSST: concentración de sólidos solubles totales; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación. Medias con la misma literal en columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

También hubo diferencias ( $p \leq 0.05$ ) en la longitud y diámetro en frutos de fresa var. San Andreas; el régimen que favoreció ambas variables (3.59 y 2.96 cm respectivamente) fue 10:1.25:7. Chávez- Sánchez *et al.* (2014) reportaron valores en la longitud de frutos de fresa 3.68 cm y para el diámetro 2.73 cm aplicando una concentración de  $\text{NO}_3^-$  de 9 miliMol (mM) en la solución nutritiva. Caso *et al.* (2010) obtuvieron en el diámetro y longitud valores de 2.99 cm y 4.11 cm, respectivamente, en frutos de fresa con el sustrato de cascarilla de arroz y solución hidropónica La Molina.

El régimen nutrimental 10:1.25:7 tuvo efecto significativo ( $p \leq 0.05$ ) en el peso promedio por fruto (15.15 g), el cual fue 147 % mayor que los frutos (6.13 g) de plantas nutridas con 10:1.25:5. En este caso, la variación de la respuesta se debió a la concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  en la fase de fructificación. Casierra-Posada y Poveda (2005) obtuvieron pesos por fruto de hasta 10.70 g, sin embargo, también mencionan que la radiación y fotoperiodo afectan el peso de los frutos de fresa.

En cuanto al rendimiento de frutos por planta, el valor sobresaliente (289.28 g) se registró con el régimen (en meq  $\text{L}^{-1}$ ) 10:1:7; el cual fue 322.24 % superior al registrado en plantas nutridas con 14:1:9 (Cuadro 3). Moor *et al.* (2004) reportaron rendimiento de frutos de 252 g por planta, fertilizando con los productos Kemfos® y Kemira Ferticare® en las diferentes fases fenológicas de la fresa var. 'Bounty', en tanto que Romero-Romano *et al.* (2012) obtuvieron 189.42 g utilizando nutrición orgánico-mineral (Fertilizante químico + ácidos fúlvicos + regulador de crecimiento + vermicomposta), mientras que Furlani y Fernández (2007) indicaron rendimientos de 50 a 300 g. En relación con el régimen nutrimental, se esperaría que con la mayor concentración de  $\text{NO}_3^-$  (14 meq  $\text{L}^{-1}$ ) en la fase vegetativa y de  $\text{K}^+$  (9 meq  $\text{L}^{-1}$ ) en la de fructificación, el rendimiento de fruto por planta fuera superior que con los valores más bajos de ambos nutrimentos: 10 y 7, respectivamente, sin embargo, los datos mostraron lo contrario. De lo anterior se deduce que las relaciones entre la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la fase vegetativa y la de  $\text{K}^+$  en la de fructificación es más importante que el valor absoluto de cada uno de los nutrimentos involucrados.

Las características físicas del fruto son importantes, pero también lo es el grado de dulzura, entre otros atributos bioquímicos (Juárez-Rosete *et al.*, 2007). El régimen que favoreció la CSST fue (en meq L<sup>-1</sup>) 14:1.25:5, con un valor de 11.75 °Brix; en relación con el obtenido en frutos de plantas nutridas con 14:1.00:5, fue 710 % superior (Cuadro 3). Roudeillac y Trajkovski (2004) señalan que la fresa debe estar entre 7 y 12 °Brix, para ubicarse entre las recomendaciones de calidad postcosecha. Giraldo (2006) reportó 9.3 °Brix en frutos de fresa, mientras que Martínez- Bolaños *et al.* (2008) alcanzaron valores de hasta 8.48 °Brix con el cultivar de fresa mexicano CP-Roxana. Núñez-Castellano *et al.* (2012) evaluaron frutos de fresa en donde el resultado fue de 9.50 °Brix con el tratamiento sin inmersión en calcio, con cobertura plástica.

Es importante hacer notar que con la disminución del H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> en la fase de floración, con la misma concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y K<sup>+</sup> en las fases vegetativa y de fructificación, respectivamente, la CSST disminuyó significativamente; lo cual puede indicar que, en el metabolismo de los azúcares, ácidos orgánicos, entre otros, la participación del H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> es importante al igual que su concentración relativa con los otros dos iones (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y K<sup>+</sup>).

### 3.6 CONCLUSIONES

Las plantas de fresa producidas en hidroponía con régimen nutrimental manifestaron respuesta significativamente diferente en el contenido relativo de clorofila, área foliar, biomasa seca de hojas, diámetro de flor, longitud y diámetro ecuatorial del fruto, peso promedio del fruto, rendimiento por planta y concentración de sólidos solubles totales en fruto, en función de las concentraciones relativas entre  $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{K}^+$ , en las fases vegetativa, reproductiva y fructificación, respectivamente.

El régimen nutrimental de 10 meq  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  en la fase vegetativa, 1.00 meq  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  en la reproductiva y 7 meq  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{K}^+$  en fructificación, es el recomendable para producir fresa en sistema sin suelo porque incrementó de forma significativa el diámetro del fruto y el rendimiento por planta.

### 3.7 LITERATURA CITADA

- Armenta-Bojórquez, A. D.; Baca-Castillo, G. A.; Alcántar-González, G.; Kohashi-Shibata, J.; Valenzuela-Ureta, J. G. y Martínez-Garza, A. 2001. Relaciones de nitratos y potasio en fertirriego sobre la producción, calidad y absorción nutrimental de tomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 7(1):61-75.
- Avitia-García, E.; Pineda-Pineda, J.; Castillo-González, A. M.; Trejo-Téllez, L. I.; Corona-Torres, T. y Cervantes-Urbán, E. 2014. Extracción nutrimental en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(3):519-524.
- Casierra-Posada, F. y Poveda, J. 2005. La toxicidad por exceso de Mn y Zn disminuye la producción de materia seca, los pigmentos foliares y la calidad del fruto en fresa (*Fragaria* sp. cv. Camarosa). *Agronomía Colombiana*. 23(2):283-289.
- Caso, C.; Chang, M. y Rodríguez-Delfín, A. 2010. Efecto del sustrato sobre la producción de fresa en sistema de columna. *Boletín Núm. 46. Red Hidroponía*. Lima, Perú. 7-12 pp.
- Cárdenas-Navarro, R.; Sánchez-Yáñez, J. M.; Farías-Rodríguez, R. y Peña-Cabriales, J. J. 2004. Los aportes del nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 10(2):173-178.
- Chávez-Sánchez, E.; Preciado-Rangel, P.; Fortis-Hernández, M.; Rocha-Valdez, J. L. y Salazar-Sosa, E. 2014. Fertilización nitrogenada y potásica en la producción y calidad de fresa. *In: Memoria del XXXIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. Ciudad Juárez, Chihuahua. 30-33 pp.
- Díaz, L. F.; Dávalos, P. A.; Jofre, A. E. y Martínez, T. O. 2017. Fresa, deficiencias y síntomas nutricionales “una guía visual para fertilizar”. *Folleto técnico Núm. 36. INIFAP-SAGARPA*. Celaya, Guanajuato, México. 34 p.
- Eurosemillas. 2020. Fresas. San Andreas. <http://www.eurosemillas.com/es/variedades/fresa/item/27-san-andreas.html>
- Eyal, I. 2008. Microelementos en la agricultura. *Boletín Núm. 38. Red Hidroponía*. Lima, Perú. 2-11 pp.

- FAOSTAT. 2020. Producción agrícola. País por producto: Fresa.  
<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>
- Furlani, P. y Fernández, F. 2007. Hidroponía vertical para la producción de fresa. Boletín Núm. 36. Red Hidroponía. Lima, Perú. 8-14 pp.
- Fernández, M. T. 2007. Fósforo: amigo o enemigo. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. 41(2):51-57.
- Giraldo, G. A. 2006. El efecto del tratamiento de impregnación a vacío en la respiración de frutas (manzana, fresa, melocotón y sandía) mínimamente procesadas. Vitae. 13(2):21-25.
- Hernández, M. I.; Chailloux, M.; Moreno, V.; Mojena, M. y Salgado, J. M. 2009. Relaciones nitrógeno-potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y su efecto en la acumulación de biomasa y extracción de nutrientes. Cultivos Tropicales. 30(4):71-78.
- Jara, E. y Suni, M. 1999. Evaluación de soluciones nutritivas para el cultivo hidropónico de fresa (*Fragaria x ananassa*). Revista Peruana de Biología. 6(1): 61-67.
- Juárez-Rosete, C. R.; Rodríguez-Mendoza, M. N.; Sandoval-Villa, M. y Muratalla-Lúa, A. 2007. Comparación de tres sistemas de producción de fresa en invernadero. TERRA Latinoamericana. 25(1):17-23.
- Kirschbaum, D. S. y Borquez, A. M. 2006. Nutrición mineral de la frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.). In: Memoria del III Simpósio Nacional do Morango, II Encontro sobre pequenas frutas e frutas nativas do Mercosul. Pelotas, Brasil. 117-127 pp.
- Llacuna, L. y Mach, N. 2012. Papel de los antioxidantes en la prevención del cáncer. Revista Española de Nutrición Humana y Dietética. 16(1):16-24.
- Luna-Zapién, E. A.; Preciado-Rangel, P.; Fortis-Hernández, M.; Meza-Velázquez, J. A.; Martínez-Rodríguez, F. J. y Esparza-Rivera, J. R. 2016. Capacidad antioxidante de fresa (*Fragaria vesca*) hidropónica producida bajo diferente aportación de potasio-nitrógeno. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. 1(2):307-312.

- Manqueros-Avilés, V. E. 2015. Mediciones nutritivas en un sistema hidropónico NFT mediante el uso de sensores de iones selectivos y LabVIEW. Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo. 1(1):162-171.
- Martínez-Bolaños, M.; Nieto-Ángel, D.; Téliz-Ortiz, D.; Rodríguez-Alcázar, J.; Martínez-Damián, M. T.; Vaquera-Huerta, H. y Carrillo, O. 2008. Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. Revista Chapingo Serie Horticultura. 14(2):113-119.
- NMX-FF-062-SCFI-2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Fruta fresca. Fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). Especificaciones y método de prueba (Cancela a la NMX-FF-062-1987). <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-062-2002.PDF>
- Moor, U.; Karp, K. y Pöldma, P. 2004. Effect of mulching and fertilization on the quality of strawberries. Agricultural and Food Science. 13(3):256-267.
- Núñez-Castellano, K.; Castellano, G.; Ramírez-Méndez, R.; Sindoni, M. y Marín, C. 2012. Efecto del cloruro de calcio y una cubierta plástica sobre la conservación de las propiedades organolépticas de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. 13(1):21-30.
- Ojodeagua, J. L.; Castellanos, J. Z.; Muñoz, J. J.; Alcántar, G.; Tijerina, L.; Vargas, P. y Enríquez, S. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. Revista Fitotecnia Mexicana. 31(4):367-374.
- Romero-Romano, C. O.; Ocampo-Mendoza, J.; Sandoval-Castro, E. y Tobar-Reyes, J. R. 2012. Fertilización orgánica-mineral y orgánica en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) bajo condiciones de invernadero. Ra Ximhai. 8(3): 41-49.
- Roudeillac, P. y Trajkovski, K. 2004. Breeding for fruit quality and nutrition in strawberries. Acta Horticulturae. 649:55-59.
- SAS Institute. 1999. SAS/STAT user's guide. Version 6.12 SAS. Cary, NC, USA. 220 p.

- SAGARPA. 2016. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Fresa Mexicana. 20 p.
- SIAP. 2020a. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la producción agrícola por estado. Cultivo: fresa. [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do)
- SIAP. 2020b. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Superficie cubierta y número de instalaciones de agricultura protegida. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. ISOSC. In: Proceedings of 6<sup>th</sup> International Congress on Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands. 633-649 pp.
- Taylor, D. R. 2002. The physiology of flowering in strawberry. *Acta Horticulturae*. 567:245-251.
- Vásquez, A.; Cala, M.; Miranda, I.; Tafurt, G.; Martínez, J. y Stashenko, E. E. 2007. Actividad antioxidante y contenido total de fenoles de los extractos etanólicos de *Salvia aratocensis*, *Salvia sochensis*, *Bidens reptans* y *Montanoa ovalifolia*. *Scientia Et Technica*. 8(33):205-207.
- Vázquez-Gálvez, G.; Cárdenas-Navarro, R. y Lobit, P. 2008. Efecto del nitrógeno sobre el crecimiento y rendimiento de fresa regada por goteo y gravedad. *Agricultura Técnica en México*. 34(2):235-241.
- Villegas-Torres, O. G.; Sánchez-García, P.; Baca-Castillo, G. A.; Rodríguez-Mendoza, M. N.; Trejo, C.; Sandoval-Villa, M. y Cárdenas-Soriano, E. 2005. Crecimiento y estado nutrimental de plántulas de tomate en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio y potencial osmótico. *Terra Latinoamericana*. 23(1): 49-56.
- Urrestarazu, M.; Guzmán, M.; Sánchez, A.; Salas, M. C. y Lorente, F. A. 1999. Effect of evolution in the increase the nutrient solution electrical conduction on quality parameters of tomato seedlings. Florida. *Acta Horticulturae*. 487: 213-218.

## **CAPÍTULO 4.**

### **CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRESA EN SUSTRATOS GENERADOS A TRAVÉS DE UN ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN**

#### **4.1 RESUMEN**

Un sustrato con fines de producción agrícola en contenedor debe tener las propiedades físicas y químicas que permitan el buen desarrollo del cultivo. Es común utilizar la técnica de ensayo y error para mezclar los diferentes materiales sólidos de origen orgánico e inorgánico para conseguir tal fin; sin embargo, el uso de algoritmos de optimización es una alternativa viable para formular sustratos con la correspondiente reducción de costos y tiempo. Los objetivos de la presente investigación fueron dos. El primero de ellos fue generar sustratos con el “Algoritmo Generador de Sustratos para Plántulas” y determinar sus propiedades físicas. El segundo fue evaluar el crecimiento, rendimiento y calidad de fresa en los sustratos generados por el Algoritmo. Para la formulación de los sustratos se consideraron vermiculita, polvo de coco y composta, cada uno de ellos separados en tres granulometrías [ $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm (G1); de  $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm (G2); de  $\geq 2.0$  a  $< 3.36$  mm (G3)], de las cuales se determinaron las propiedades físicas: porosidad total (PT, %), porosidad de aireación (PA, %), capacidad de retención de agua (CRA, %), densidad aparente ( $D_a$ ,  $\text{mg/m}^3$ ) y densidad de partículas ( $D_p$ ,  $\text{mg/m}^3$ ). Las propiedades físicas de un sustrato comercial a base de Peat Moss se utilizaron como referencia para elegir los generados por el algoritmo. Para evaluar el crecimiento, rendimiento y calidad de la fresa, se tuvieron cuatro tratamientos distribuidos en un diseño experimental bloques completos al azar con cuatro repeticiones por tratamiento. Los resultados indican que el “Algoritmo Generador de Sustratos para Plántulas” es una herramienta informática viable para mezclar componentes sólidos en diferentes granulometrías con la finalidad de generar sustratos con propiedades físicas dentro de los parámetros recomendados, con potencial para producir cultivos en contenedor. Los cuatro sustratos generados por

el algoritmo son opciones para la producción de fresa en contenedor debido a que el crecimiento (a excepción de la longitud de raíz), rendimiento (tamaño de fruto y peso de materia fresca por planta) y calidad de los frutos (sólidos solubles totales) fueron estadísticamente similares.

**Palabras clave:** vermiculita, polvo de coco, composta, propiedades físicas.

## 4.2 ABSTRACT

A substrate for agricultural production purposes in container must have the physical and chemical properties that allow the good development of the crop. It is common to use the trial and error technique to mix the different solid materials of organic and inorganic origin to achieve this end; however, the use of optimization algorithms is a viable alternative to formulate substrates with the corresponding reduction in costs and time. The objectives of the present investigation were two. The first of them was to generate substrates with the “Seedling Substrate Generating Algorithm” and determine their physical properties. The second was to evaluate the growth, yield and quality of strawberry in the substrates generated by the algorithm. Vermiculite, coconut dust and compost were considered for the formulation of the substrates, each one separated into three granulometries [ $\geq 0.5$  to  $< 1.0$  mm (G1);  $\geq 0.1$  to  $< 2.0$  mm (G2);  $\geq 2.0$  to  $< 3.36$  mm (G3)], from which the physical properties were determined: total porosity (TP, %), aeration porosity (AP, %), water holding capacity (WHC, %), density apparent ( $D_a$ ,  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) and density of particle ( $D_p$ ,  $\text{mg}/\text{m}^3$ ). The physical properties of a commercial substrate base on Peat Moss were used as a reference to choose those generated by the algorithm. To evaluate strawberry growth, yield and quality, four treatments were distributed in a randomized complete blocks experimental design with four repetitions per treatment. The results indicate that the Seedling Substrate Generating Algorithm is a viable computer tool to mix solid components in different granulometries in order to generate substrates with physical properties within the recommended parameters, with the potential to produce container crops. The four substrates generated by the algorithm are options for the production of strawberry in container because the growth (except for the root length), yield (fruit size and weight of fresh matter per plant) and fruit quality (total soluble solids) were statistically similar.

**Key words:** vermiculite, coconut dust, compost, physical properties.

### 4.3 INTRODUCCIÓN

En México, la fresa es una de las cadenas productivas de gran importancia debido al valor de la producción, aunado a la generación de un importante número de empleos anuales, además de ser el cuarto país en producción de esta especie a nivel mundial (Romero-Romano *et al.*, 2012; FAOSTAT, 2020). Debido a que los consumidores buscan en la fresa una apariencia favorable, un determinado tamaño y calidad nutricional, es fundamental conocer los factores que afectan tales cualidades organolépticas de los frutos, tanto los que pueden ser controlados por los productores como el cultivar, sistema de cultivo, el manejo agronómico (fuente, dosis y época de aplicación de la fertilización, entre otros), como las condiciones poco controladas: las características edafoclimáticas (Cárdenas-Navarro *et al.*, 2004).

En México el cultivo de fresa se produce de manera tradicional a cielo abierto, en surcos con o sin cubierta plástica. El riego generalmente es rodado; así que las enfermedades asociadas al suelo causadas por hongos o bacterias constituyen la principal causa de pérdidas en este cultivo (Furlani y Junior, 2007). Para disminuir los problemas sanitarios y obtener frutos de excelente calidad que demanda el mercado, algunos productores han buscado nuevas formas de producción, entre las que se encuentran los cultivos sin suelo.

Los cultivos sin suelo, también llamados hidropónicos, han sido de los sistemas más utilizados en invernadero. Recientemente ha tenido auge la producción intensiva de fresa bajo cubierta plástica porque se eleva su potencial productivo al obtenerse frutos durante todo el año, lo cual permite satisfacer la demanda local e internacional. Con este sistema de producción se reduce significativamente la incidencia de los patógenos que frecuentemente están en los frutos cultivados en campo, mejorando la calidad del producto, también se optimiza el uso de insumos y se reduce el impacto ecológico y económico durante la producción (Morgan, 2002).

En la optimización de recursos en un sistema hidropónico en invernadero se consideran dos factores muy importantes, entre otros: el régimen nutrimental y el uso de sustratos. El primer factor es crucial; Campos-García *et al.* (2016) refieren que durante el proceso de producción intensiva de fresa se pueden distinguir dos etapas fenológicas muy importantes, cuyo manejo nutrimental definen el éxito en rendimiento y calidad del fruto: vegetativa-floración y floración-fructificación. Villegas-Torres *et al.* (2005) también sugieren que las características de la solución nutritiva tienen gran influencia en cada etapa fenológica del cultivo y que la relación de cationes y aniones en la solución nutritiva es pieza clave para que la planta manifieste buen crecimiento, floración, fructificación, rendimiento y calidad. En este sentido, Mixquititla-Casbis *et al.* (2020a) determinaron que nutrir la fresa con 10 meq L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> durante la etapa vegetativa, 1.00 meq L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> en la de floración y 7 meq L<sup>-1</sup> de K<sup>+</sup> en la de fructificación, el diámetro ecuatorial del fruto y el rendimiento por planta se incrementó con respecto a las plantas que recibieron el régimen nutrimental basado en la solución nutritiva universal (Steiner, 1984).

Por otro lado, Cruz-Crespo *et al.* (2012) definen sustrato como todo material de origen orgánico e inorgánico diferente al suelo que puede proporcionar anclaje, oxígeno y agua suficiente para el óptimo desarrollo de las plantas, y en algunos casos también puede suministrar nutrimentos; tales requerimientos pueden cubrirse con un solo material o en combinación con otros, los cuales deberán ser colocados en un contenedor. Por su parte, Romero-Romano *et al.* (2012) mencionan que dos propiedades importantes son porosidad y capacidad de retención de humedad porque están relacionadas con la capacidad de aireación y drenaje, lo cual favorece la absorción de los nutrientes por las raíces. Por lo anterior, Ortega *et al.* (2016) resaltan que con el uso de sustratos en lugar de suelo se disminuyen costos de producción, aumenta la calidad de frutos, además se optimiza el uso de agua y fertilizantes.

Los materiales más utilizados como sustratos, solos o combinados, son vermiculita, tezontle, fibra y polvo de coco, lana de roca y algunas compostas. Dichos productos de origen mineral u orgánico tienen potencial para sustituir a la turba (Peat Moss), que ha sido el material con mayor uso como componente de los sustratos para la producción de plantas (Restrepo *et al.*, 2013). Para ello, se deben elegir los componentes que conformarán la mezcla, así como de su respectiva granulometría, ya que la combinación de componentes: granulometrías determinan las propiedades físicas y químicas del sustrato (Mixquititla-Casbis *et al.*, 2020b).

Un sustrato puede prepararse mediante el procedimiento tradicional, es decir, por ensayo y error, el cual consiste en mezclar diferentes porcentajes de los componentes en una granulometría determinada y en la mezcla donde la planta presente buen crecimiento se considera el mejor sustrato. Este método es caro y lleva mucho tiempo por la cantidad de combinaciones a evaluar, lo cual no garantiza que se hayan explorado todas las mezclas posibles. Otras alternativas más baratas y con mayor precisión son herramientas estadísticas o algoritmos de optimización.

La programación lineal es una de las técnicas usadas a nivel experimental para la formulación de sustratos (Zamora-Morales *et al.*, 2005); sin embargo, en el ámbito de la agricultura se ha visto limitado el uso de esta metodología, debido a que se requiere el conocimiento de los conceptos y de las técnicas fundamentales de varios temas matemáticos, tales como matrices y determinantes, vectores y espacios vectoriales, conjuntos convexos, desigualdades lineales, solución a ecuaciones lineales simultáneas, entre otros (Cruz *et al.* 2010).

Burés *et al.* (1988) emplearon las técnicas de programación lineal con la finalidad de orientar la selección de mezclas de sustrato a partir de materiales únicos. De igual manera, Zamora *et al.* (2005) ocuparon el software BLP88 estableciendo variables de diseño (balance de volúmenes, materia orgánica, espacio poroso total y capacidad de aire) y variables finales para cada una de las propiedades de la mezcla diseñada. Ellos concluyeron que la formulación de mezclas de sustratos

específicos es posible realizarse utilizando la técnica de programación lineal, a partir de las propiedades físicas y químicas de las materias primas individuales.

Una herramienta informática alternativa a la programación lineal es el algoritmo de optimización diseñado *ex profeso* para generar sustratos con fines de producción agrícola. Éste es alimentado con las características físicas del “sustrato ideal” y de los componentes seleccionados para preparar el sustrato, en granulometrías específicas. La generación de sustratos es un problema combinatorio, por lo que, para lograr el sustrato ideal con un grado de error mínimo se requiere que el algoritmo realice todas las combinaciones posibles, que pueden ser cientos o miles en función del número de componentes sólidos y granulometrías a combinar, sin embargo, la cantidad de sustratos a evaluar se reduce unas cuantas mezclas de componentes, con sus respectivas granulometrías, cuyas propiedades físicas teóricas sean similares a las del “sustrato ideal” (Mixquititla-Casbis *et al.*, 2020b).

Es de gran importancia obtener evidencia experimental que demuestre la factibilidad del algoritmo de optimización para generar sustratos con propiedades físicas que permitan el buen crecimiento y rendimiento de un cultivo, considerando materiales asequibles en una determinada región productora, con la finalidad de sustituir sustratos de importación, en consecuencia, reducir costos por este concepto. En este sentido, los objetivos de la presente investigación fueron dos. El primero de ellos fue generar sustratos con el “Algoritmo Generador de Sustratos para Plántulas” (Registro público: 03-2016-110712311200-01) y caracterizar sus propiedades físicas; mientras que el segundo objetivo fue evaluar el crecimiento, rendimiento y calidad de fresa cv. ‘San Andreas’ por efecto de los sustratos generados por el algoritmo de optimización con la hipótesis de que los sustratos inducirán a las plantas a presentar la mayoría de las variables de respuesta consideradas en este experimento para el crecimiento, rendimiento y calidad, estadísticamente similares.

## 4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.4.1 Área experimental

La determinación de las propiedades físicas de los componentes de sustrato (vermiculita, polvo de coco y composta), así como de los sustratos preparados con los resultados teóricos del algoritmo de optimización, se realizó en el Laboratorio Producción Agrícola, mientras que el experimento para determinar el crecimiento y rendimiento de la fresa en los sustratos obtenidos por el algoritmo se instaló en un invernadero con cubierta de polietileno blanco lechoso 30 % sombra del campo experimental. Tanto el laboratorio como el invernadero pertenecen a la Facultad de Ciencias Agropecuarias (18°58'51" N, 99°13'57" O, 1868 msnm) en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México.

### 4.4.2 Generación de sustratos

La formulación de los sustratos para la producción de fresa en sistema hidropónico se realizó con el Algoritmo Generador de Sustratos para Plántulas (Registro público: 03-2016-110712311200-01). Para ello se eligieron los componentes sólidos vermiculita, polvo de coco y composta porque son materiales con potencial de ser usados para conformar sustratos con fines agrícolas y asequibles. Cada uno de ellos se separaron en tres granulometrías:  $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm (G1),  $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm (G2) y  $\geq 2.0$  a  $< 3.36$  mm (G3). Se eligieron estas tres granulometrías debido a que representan el 79 % de las siete determinadas por Villegas-Torres *et al.* (2017) en el sustrato comercial a base de Peat Moss (Sunshine3®). En cada una de las granulometrías de los tres materiales se estimaron las propiedades físicas [porosidad total (PT, %), porosidad de aireación (PA, %), capacidad de retención de agua (CRA, %), densidad aparente ( $D_a$ , mg/m<sup>3</sup>) y densidad de partículas ( $D_p$ , mg/m<sup>3</sup>)] mediante la metodología reportada por Mixquititla-Casbis *et al.* (2020b). También se estimaron las mismas propiedades del sustrato Sunshine3®, considerado el de referencia. Con los datos de las propiedades físicas se alimentó

el Algoritmo, el cual generó las combinaciones de materiales con las respectivas granulometrías cuyas propiedades físicas teóricas fueran las más cercanas posibles a las del sustrato de referencia (Sunshine3®) o sustrato ideal con un error relativo de 5 %. Una vez conocidas las formulaciones para los posibles sustratos a desarrollar la selección se priorizó con base en la densidad aparente porque es una característica muy importante para los productores por su repercusión en el peso del contenedor de cultivo; esto afecta directamente el costo de transporte. Se procedió a mezclar los componentes en el porcentaje indicado por los resultados del algoritmo, se determinaron sus propiedades físicas y se evaluaron desde el punto de vista agronómico con base en el crecimiento, rendimiento y calidad de la fresa.

#### **4.4.3 Evaluación del crecimiento, rendimiento y calidad de la fresa**

**Material vegetal.** Se utilizaron plantas de fresa ‘San Andreas’ que es una variedad de día neutro de excelente calidad de fruta, con poca necesidad de frío en vivero, resistente a enfermedades. Es precoz (plantación de otoño), su producción es estable durante todo el ciclo, mantiene su tamaño todo el tiempo con buena producción. Produce menos estolones que la variedad Albión cuando está en producción de fruta (Eurosemillas, 2020). La elección de la variedad ‘San Andreas’ se basó en su potencial productivo de frutos durante todo el año, característica de gran relevancia para cultivar esta especie en sistemas hidropónicos en condiciones no restrictivas (invernadero).

**Manejo del experimento.** Para evaluar el crecimiento, rendimiento y calidad de la fresa, se tuvieron cuatro tratamientos, que correspondieron a los sustratos seleccionados de los resultados del algoritmo de optimización. Los tratamientos se distribuyeron en el espacio conforme a un diseño experimental bloques completos al azar con cuatro repeticiones por tratamiento. La unidad experimental fue un tubo de PVC de 3” de diámetro y 3 metros de largo. En cada tubo se colocaron 10 plantas de fresa. Los tres riegos por día se realizaron mediante un sistema de riego por

goteo (con gotero autocompensable marca Netafim y caudal de 8 L por hora) controlados con un temporizador. Durante el experimento se registró la humedad relativa, intensidad luminosa y temperatura con ayuda de un datalogger (Hobo®, Massachusetts, USA). Se suministró el régimen nutricional conforme a lo indicado por Mixquititla-Casbis *et al.* (2020a): en la etapa vegetativa, considerada desde el trasplante hasta que el 50 % de las plantas presentaron 10 hojas verdaderas y apareció la primera flor, la concentración de  $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}:\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$  fue 10:1.25:8.75:7:9:4 meq L<sup>-1</sup>, respectivamente; mientras que a partir de la etapa reproductiva (desde la aparición de la primera flor) hasta el término de la cosecha se suministró 12:1:7:7:9:4 meq L<sup>-1</sup> de  $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}:\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$ . Las soluciones nutritivas se prepararon con agua de la llave, previo análisis físico-químico, y con fertilizantes altamente solubles (nitrato de potasio, nitrato de calcio, sulfato de potasio, fosfato monopotásico y sulfato de magnesio). Los micronutrientes (mg L<sup>-1</sup>) en las dos soluciones nutritivas fueron los siguientes: Fe, 8 (fuente Fe-EDTA); H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 2.88; Mn, 0.502 (MnCl<sub>2</sub>); Zn, 0.050 (ZnSO<sub>4</sub>); Cu, 0.045 (CuSO<sub>4</sub>); Mo, 0.010 (H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>). También el pH se ajustó de 5.5 – 5.8 con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

#### 4.4.4 Variables de respuesta

Área foliar, se determinó con un integrador de área foliar (LI-COR, LI3100C); volumen de raíz, se determinó mediante la técnica de desplazamiento de agua, para ello se utilizó una probeta graduada de 2 L con un volumen conocido de agua, la diferencia de volúmenes (inicial-final) al introducir la raíz en el agua correspondió al volumen de este órgano; longitud de raíz, se midió con una regla graduada desde el cuello de la planta hasta el ápice de la raíz más larga; diámetro de flor, se evaluó cada semana desde los 60 hasta 150 días después del trasplante (DDT). Los frutos se empezaron a cosechar a los 78 DDT cuando presentaron color rojo intenso de acuerdo con la NMX-FF-062-SCFI-2002, realizando un corte por semana hasta 150 DDT. Una vez cosechados, los frutos se contaron y se pesaron en una balanza digital (Ohaus, Scout, México). El peso total de la materia fresca se dividió entre el número de frutos de cada planta y se obtuvo el peso promedio por fruto. El diámetro

de fruto, con un vernier digital; mientras que el rendimiento por planta se obtuvo con la suma de lo cosechado. En los frutos completamente rojos se determinaron los sólidos solubles totales (SST) con un refractómetro portátil (Pocket refractometer Pal-1, Atago, Tokio, Japan).

#### **4.4.5 Análisis estadístico**

A todos los datos se les realizó análisis de varianza con el programa SAS institute (2000) y a los que mostraron diferencia estadística significativa se les aplicó la prueba de comparación múltiple de medias Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

## 4. 5 RESULTADOS

### 4.5.1 Sustratos generados a través del algoritmo de optimización

Las propiedades físicas de la vermiculita, polvo de coco y composta en las diferentes granulometrías [ $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm (G1);  $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm (G2);  $\geq 2.0$  a  $< 3.36$  mm (G3)]. se presentan en el Cuadro 1. También se incluyen las del sustrato comercial a base de peatmoss.

**Cuadro 1. Propiedades físicas del sustrato comercial a base de peatmoss (sustrato comercial) y de vermiculita, polvo de coco y composta.**

Componente	Granulometría	Propiedades físicas				
		PT	PA	CRA	Da	Dp
Peatmoss		77.10	9.89	67.20	0.10	0.45
Vermiculita	G1	65.14	3.92	61.22	0.15	0.42
Polvo de coco	G1	79.86	3.17	76.69	0.08	0.41
Composta	G1	66.39	3.53	62.86	0.39	1.15
Vermiculita	G2	69.91	9.69	60.23	0.13	0.42
Polvo de coco	G2	75.63	15.78	59.84	0.07	0.28
Composta	G2	66.57	15.03	51.54	0.35	1.04
Vermiculita	G3	70.28	17.99	52.29	0.12	0.39
Polvo de coco	G3	71.05	36.19	34.87	0.05	0.21
Composta	G3	66.89	24.78	42.11	0.30	0.90

G1: granulometría de  $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm, G2: granulometría de  $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm, G3: granulometría de  $\geq 2.0$  a  $< 3.36$  mm, PT: porosidad total estimada (%), PA: porosidad de aireación estimada (%), CRA: capacidad de retención de agua estimada (%), Da: densidad aparente estimada ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), Dp: densidad de partículas estimada ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

En el cuadro anterior se observa que los tres materiales en sus diferentes granulometrías presentan distintas propiedades físicas. Mixquititla-Casbis *et al.* (2020b) mencionan que las propiedades físicas y químicas de los sustratos son modificados tanto por la granulometría como por el tipo de material (orgánico o

inorgánico), al igual que por la combinación granulometría: material. Con los datos del Cuadro 1 y las propiedades físicas del Peat Moss (Sunshine3®) como “sustrato ideal” se alimentó el Algoritmo Generador de Sustratos para Plántulas (Registro público: 03-2016-110712311200-01). Los sustratos seleccionados por este proceso se presentan en el Cuadro 2. En éste se observa que en los sustratos 1 (S1), 3 (S3) y 4 (S4) el mayor componente fue vermiculita (51-57 %) en granulometría 3 ( $\geq 2.0$  a  $< 3.36$  mm), seguida de composta (38-44 %) en granulometría 1 ( $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm), y por último composta (3-5 %) en granulometría 3 ( $\geq 2.0$  a  $< 3.36$  mm). En tanto que el sustrato 2 (S2) llevó los tres materiales considerados en este experimento: vermiculita, polvo de coco y composta, en diferente proporción volumétrica y granulometría.

En el Cuadro 3 se presentan las propiedades físicas teóricas generadas por el algoritmo, correspondientes a los sustratos indicados en el Cuadro 2.

**Cuadro 2. Sustratos obtenidos a través del algoritmo de optimización.**

Sustrato	Componentes					
	Vermiculita		Polvo de coco		Composta	
	Granulometría	%	Granulometría	%	Granulometría	%
S1	G2	56	0	0	G1 G3	41 3
S2	G2	54	G2	3	G1	43
S3	G2	51	0	0	G1 G3	44 5
S4	G2	57	0	0	G1 G3	38 5

G1: granulometría de  $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm, G2: granulometría de  $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm, G3: granulometría de  $\geq 2.0$  a  $< 3.36$  mm.

**Cuadro 3. Propiedades físicas teóricas de los sustratos generados a través del algoritmo de optimización, y del peatmoss determinadas en laboratorio.**

Sustrato	Propiedades físicas				
	PT	PA	CRA	Da	Dp
Peat moss	77.10	9.89	67.20	0.100	0.450
S1	75.53	9.89	65.64	0.102	0.416
S2	75.34	9.89	65.44	0.105	0.420
S3	74.99	10.77	64.22	0.108	0.425
S4	75.57	9.88	65.68	0.106	0.426

S1: vermiculita 56 % (granulometría  $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm) más composta 41 % ( $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm) más composta 3 % ( $\geq 2.0$  a  $< 3.36$  mm) (v/v), S2: vermiculita 54 % ( $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm) más polvo de coco 3 % ( $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm) más composta 43 % ( $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm) (v/v), S3: vermiculita 51 % ( $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm) más composta 44 % ( $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm) más composta 5 % ( $\geq 2.0$  a  $< 3.36$  mm) (v/v), S4: vermiculita 57 % ( $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm) más composta 38 % ( $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm) más composta 5 % ( $\geq 2.0$  a  $< 3.36$  mm) (v/v), PT: porosidad total (%), PA: porosidad de aireación (%), CRA: capacidad de retención de agua (%), Da: densidad aparente ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), Dp: densidad de partículas estimada ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

De acuerdo con los datos del Cuadro 3, la variación de la porosidad total (PT) teórica en los sustratos fue de 0.77 % entre los valores extremos. En el mismo tenor, porosidad de aireación (PA), 9 %; capacidad de retención de agua estimada (CRA), 2.27 %; densidad aparente (Da), 5.88 %; densidad de partículas (Dp), 2.40 %. Los datos anteriores indican poca variación teórica en las propiedades físicas de los sustratos generados por el algoritmo de optimización. La variación en PT con respecto al Peat Moss fue de 2.02 - 2.8 %; PA, 0.1 % con relación al S4 y de 8.89 % respecto al S3; CRA, 2.32 - 6.64 %; Da, 2 - 8 %; Dp, 5.63 - 8.17 %.

En el Cuadro 4 se muestran las propiedades físicas determinadas en laboratorio, tanto del Peat Moss como de los sustratos obtenidos mediante el algoritmo de optimización.

**Cuadro 4. Propiedades físicas de Peat Moss y de los sustratos generados a través del algoritmo de optimización, obtenidas en laboratorio.**

Sustrato	Propiedades físicas				
	PT	PA	CRA	Da	Dp
Peat Moss	77.10 a	9.89 a	67.20 a	0.10 c	0.45 b
S1	57.07 b	5.01 d	52.06 b	0.32 a	0.75 a
S2	57.22 b	5.97 cd	51.24 b	0.31 ab	0.74 a
S3	58.06 b	6.45 c	51.60 b	0.31 ab	0.75 a
S4	60.12 b	7.81 b	52.30 b	0.29 b	0.74 a
DMSH	4.52	1.23	4.53	0.02	0.06
CV (%)	3.85	9.26	4.36	5.30	4.61

S1: vermiculita 56 % (granulometría  $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm) más composta 41 % ( $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm) más composta 3 % ( $\geq 2.0$  a  $< 3.36$  mm) (v/v), S2: vermiculita 54 % ( $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm) más polvo de coco 3 % ( $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm) más composta 43 % ( $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm) (v/v), S3: vermiculita 51 % ( $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm) más composta 44 % ( $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm) más composta 5 % ( $\geq 2.0$  a  $< 3.36$  mm) (v/v), S4: vermiculita 57 % ( $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm) más composta 38 % ( $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm) más composta 5 % ( $\geq 2.0$  a  $< 3.36$  mm) (v/v), PT: porosidad total (%), PA: porosidad de aireación (%), CRA: capacidad de retención de agua (%), Da: densidad aparente ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), Dp: densidad de partículas estimada ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), DMSH: diferencia mínima significativa honesta, CV: coeficiente de variación.

Los resultados del Cuadro 4 indican que empíricamente los sustratos generados por el algoritmo de optimización tienen propiedades físicas estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ) diferentes a las del peatmoss. El sustrato comercial sobresalió en PT, PA y CRA con valores más altos en 32.66 %, 26.63 % (en comparación con el S4) y 29.72 %, respectivamente, pero la Da y Dp fueron de menor valor, en comparación con los sustratos generados por el algoritmo de optimización. Por otro lado, los cuatro sustratos obtenidos mediante algoritmo presentaron valores de PT, CRA y Dp estadísticamente similares ( $p \leq 0.05$ ), en tanto que el S4 presentó mayor PA y menor Da. Los valores de PT, PA y CRA del peatmoss estuvieron en el intervalo recomendando por Cabrera (1999) quien menciona valores óptimos en PT de 70-85 %, PA de 10-20 % y CRA de 55-70%; mientras que las propiedades de los sustratos generados por algoritmo presentaron valores por debajo de los

recomendados. Sin embargo, García *et al.* (2001) consideran una PT óptima de 60 a 80 %, así los cuatro sustratos están 3.13 % por debajo de ese valor, aunque en términos absolutos, el S4 está en el rango recomendado. Por otro lado, Ansorena (1994) indica una CRA de 40 a 60 % como deseable; los sustratos (S1, S2, S3 y S4) en promedio tuvieron 51.8 %, por lo tanto, están dentro del intervalo sugerido.

La variación de los datos obtenidos en laboratorio con relación a los encontrados por el Algoritmo de optimización, tal vez se debió al error experimental y/o a la naturaleza de los componentes de sustratos. Baker y Curry (1976) explican que el proceso de obtención de valores verdaderos se ve afectado por el error experimental, entonces al utilizar estos valores tomados del sistema real para el modelo se crea el error del modelo que es la diferencia entre un valor verdadero y un valor simulado. Cruz *et al.*, (2010) observaron esta situación durante la reproducción de las mezclas en laboratorio, la cual no fue 100 % exacta entre una repetición y otra, debido a que durante la determinación de espacio poroso total y capacidad de aireación se encontraron problemas tales como la dificultad para saturar completamente la muestra, ya que quedaron espacios de aire que no pudieron llenarse de agua, además de la pérdida de material durante el drenado de la mezcla; también mencionan que entre repeticiones de la misma mezcla de materiales se encontró una variación aproximada de 5 % en el peso, lo cual se atribuyó a la naturaleza de los materiales utilizados (orgánico e inorgánico).

#### **4.5.2 Crecimiento, rendimiento y calidad de fresa en sustratos obtenidos a través del algoritmo de optimización**

Según los datos del Cuadro 5, las plantas de fresa sólo manifestaron diferencias estadísticas en longitud de raíz, mientras que el área foliar, volumen de raíz y diámetro de flor fueron estadísticamente iguales. Las plantas que crecieron en el S2 presentaron las raíces más largas, aunque fueron estadísticamente iguales a las de las fresas cultivadas en S1 y S4. La longitud de raíz es una variable importante al ser un órgano vital para el crecimiento óptimo de la planta ya que éstas permiten el

anclaje al sustrato y proveen a las hojas los nutrientes que toman del suelo y/o sustrato. González *et al.* (2016) encontraron que dentro del contenedor las raíces de fresa variedad 'Albión' crecieron más cuando los valores de aireación promedio fueron del 13 % y 25 %, y por arriba de este valor máximo su crecimiento disminuyó. En el presente experimento con variación de PA de 5.01 a 7.81 % en los sustratos S1, S2 y S4, las raíces crecieron de 20.50 a 20.82 cm, longitud suficiente para abastecer de nutrimentos a las plantas si se considera que en los primeros 30 cm de profundidad se concentra el mayor número de pelos radicales.

De acuerdo con Peil y Gálvez (2005) existen factores que estimulan la actividad específica de la parte aérea, tales como el incremento de la concentración de CO<sub>2</sub>, la intensidad de luz o la longitud del fotoperíodo. Esto provoca un aumento en la distribución de la biomasa de las raíces, así mismo las condiciones de cultivo con sustratos artificiales en invernadero, con aporte de agua y nutrientes óptimos, logran un crecimiento máximo de las plantas con un buen sistema radical; sin embargo, en este experimento el factor de variación fue el sustrato con cuatro variantes (S1, S2, S3 y S4), descritos en el apartado anterior; la nutrición fue la misma en los cuatro tratamientos, al igual que el ambiente físico. En este contexto, las variaciones en las respuestas de la fresa 'San Andreas' se atribuyen a los sustratos usados en su cultivo.

**Cuadro 5. Crecimiento de fresa en sustratos obtenidos a través del algoritmo de optimización.**

Sustratos	AF (cm <sup>2</sup> )	VR (cm <sup>3</sup> )	LR (cm)	DF (cm)
S1	900.8 a	24.84 a	20.82 ab	2.11 a
S2	914.6 a	34.06 a	22.01 a	2.21 a
S3	691.6 a	24.06 a	16.94 b	2.15 a
S4	858.9 a	25.15 a	20.50 ab	2.25 a
DMSH	406.79	14.45	4.43	0.202
CV	23.33	33.76	13.01	8.29

S1: vermiculita 56 % (granulometría  $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm) más composta 41 % ( $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm) más composta 3 % ( $\geq 2.0$  a  $< 3.36$  mm) (v/v), S2: vermiculita 54 % ( $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm) más polvo de coco 3 % ( $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm) más composta 43 % ( $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm) (v/v), S3: vermiculita 51 % ( $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm) más composta 44 % ( $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm) más composta 5 % ( $\geq 2.0$  a  $< 3.36$  mm) (v/v), S4: vermiculita 57 % ( $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm) más composta 38 % ( $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm) más composta 5 % ( $\geq 2.0$  a  $< 3.36$  mm) (v/v), AF: área foliar por planta, VR: volumen de raíz, LR: longitud de raíz, DF: diámetro de flor, DMSH: diferencia mínima significativa honesta, CV: coeficiente de variación. Medias con la misma literal en columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

De acuerdo con los datos presentados en el Cuadro 6, las plantas de fresa produjeron frutos del mismo peso, rendimiento similar y con igual SST en frutos, independientemente de los sustratos en los cuales se cultivaron. Los SST estuvieron en el rango recomendado (7 a 12 °Brix) de acuerdo con Roudeillac y Trajkovski (2004). Urrestarazu (2004) indica que este parámetro de calidad es afectado por factores como la maduración, el cultivar, la nutrición y el estrés hídrico; sin embargo, al considerarse que todos los tratamientos recibieron el mismo manejo en cuanto a suministro de agua y nutrimentos, y las plantas estuvieron en igual condiciones ambientales, puede inferirse que el efecto de los cuatro sustratos evaluados fue estadísticamente igual.

**Cuadro 6. Rendimiento y calidad de la fresa en sustratos obtenidos a través del algoritmo de optimización.**

Sustrato	PFF (g)	RTO (g)	SST (°Brix)
S1	11.21	217.75 a	7.22 a
S2	11.15	193.13 a	7.45 a
S3	11.31	174.38 a	8.47 a
S4	12.37	243.13 a	7.05 a
DMSH	5.40	93.21	3.02
CV (%)	34.06	32.63	29.03

S1: vermiculita 56 % (granulometría  $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm) más composta 41 % ( $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm) más composta 3 % ( $\geq 2.0$  a  $< 3.36$  mm) (v/v), S2: vermiculita 54 % ( $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm) más polvo de coco 3 % ( $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm) más composta 43 % ( $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm) (v/v), S3: vermiculita 51 % ( $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm) más composta 44 % ( $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm) más composta 5 % ( $\geq 2.0$  a  $< 3.36$  mm) (v/v), S4: vermiculita 57 % ( $\geq 0.1$  a  $< 2.0$  mm) más composta 38 % ( $\geq 0.5$  a  $< 1.0$  mm) más composta 5 % ( $\geq 2.0$  a  $< 3.36$  mm) (v/v), PFF: peso promedio de materia fresca de frutos, RTO: peso de materia fresca total de frutos por planta, SST: sólidos solubles totales, DMSH: diferencia mínima significativa honesta, CV: coeficiente de variación. Valores con la misma letra en columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $P > 0.05$ ).

Con base en la igualdad estadísticas en las variables de crecimiento, rendimiento y calidad de frutos de la fresa, los cuatro sustratos generados por el Algoritmo Generador de Sustratos para Plántulas (Registro público: 03-2016-110712311200-01) son opciones para cultivar fresa en contenedor. Cabe enfatizar que en este experimento se esperaba que la fresa respondiera de manera similar con base en las características morfológicas ya indicadas, debido al proceso de conformación de los sustratos lo que repercutiría en una mínima variación en cuanto a las características físicas de los mismos.

Con la presente investigación se generó evidencia experimental de la capacidad del algoritmo para conformar sustratos con propiedades físicas que permiten el buen crecimiento y producción de cultivos, aunque falta ampliar la información

experimental al evaluar los sustratos en otras especies, así como materiales regionales diferentes a los usados en este experimento (vermiculita, polvo de coco y composta).

## 4.6 CONCLUSIONES

El Algoritmo Generador de Sustratos para Plántulas (Registro público: 03-2016-110712311200-01) es una herramienta informática viable para mezclar componentes sólidos en diferentes granulometrías con la finalidad de generar sustratos con propiedades físicas dentro de los parámetros recomendados, con potencial para producir cultivos en contenedor.

Los cuatro sustratos generados por el Algoritmo Generador de Sustratos para Plántulas (Registro público: 03-2016-110712311200-01) son opciones para la producción de fresa en contenedor debido a que el crecimiento (con excepción de la longitud de raíz), rendimiento (tamaño de fruto y peso de materia fresca por planta) y calidad de los frutos (sólidos solubles totales) fueron estadísticamente similares.

#### 4.7 LITERATURA CITADA

- Ansorena, M. 1994. Sustratos: propiedades y caracterización. Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 p.
- Baker, C.H. y Curry, R. B. 1976. Structure of agricultural simulators: a philosophical view. *Agricultural Systems*. 1(3):201-218.
- Burés, S.; Martínez, F. X. y Llorca, M. 1988. Preliminary study of the application of parametric linear programming in formulation of substrate mixes. *Acta Horticulturae*. 221(1):141-152.
- Cabrera, R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 5(1):5-11.
- Campos-García, T.; Sánchez-García, P.; Alcántar-González, G. y Calderón-Zavala, G. 2016. Respuesta agronómica y nutrimental de fresa a soluciones nutritivas con diferente relación NH 4+/NO 3. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 7(3):599-606.
- Cárdenas-Navarro, R.; Sánchez-Yáñez, J. M.; Farías-Rodríguez, R. y Peña-Cabriales, J. J. 2004. Los aportes del nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10(2):173-178.
- Cruz, C., E.; Sandoval, V. M.; Volke, H. V.; Ordaz, C. V.; Tirado T. J. L. y Sánchez E. J. 2010. Generación de mezclas de sustratos mediante un programa de optimización utilizando variables físicas y químicas. *Terra Latinoamericana*, 28(3):219-229.
- Cruz-Crespo, E.; Sandoval-Villa, M.; Volke-Haller, V. H.; Can-Chulim, Á. y Sánchez-Escudero, J. 2012. Efecto de mezclas de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de tomate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 3(7):1361-1373.
- Eurosemillas. 2020. Fresas. San Andreas. <http://www.eurosemillas.com/es/variedades/fresa/item/27-san-andreas.html>(Consulta: marzo 2020)

- FAOSTAT. 2020. Producción agrícola. País por producto: Fresa. [En línea]. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> (consultado el día 11 de abril de 2020)
- Furlani, P. R. y Junior, F. F. 2007. Hidroponía vertical para la producción de fresa. Universidad Estatal de Campiñas Sao Pablo, Brasil. Red Hidroponía. 36: 8-14.
- García, O.; Alcántar, G.; Cabrera, R. I.; Gavi, F. y Volke, V. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. TerraLatinoamericana 19(3): 249-258.
- González, J. A. F.; Evans, R. Y.; López-Cervantes, R.; Benavides-Mendoza, A. y De la Fuente, M. C. 2016. Las propiedades físicas del sustrato de crecimiento afectan el desarrollo de la fresa cultivar 'Albion'. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 17:3607-3621.
- Mixquititla-Casbis, G.; Villegas-Torres, O. G.; Andrade-Rodríguez, M.; Sotelo-Nava, H. y Cardoso-Taketa, A. T. (2020a). Crecimiento, rendimiento y calidad de fresa por efecto del régimen nutrimental. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 11(6):1337-1348.
- Mixquititla-Casbis, G.; O. G. Villegas-Torres; M. Andrade-Rodríguez; H. Sotelo-Nava; P. Juárez-López, M. J. Sainz-Aispuro; E. Martínez-Fernández; A. Cardoso-Taketa. 2020b. Propiedades físicas y químicas de sustratos en función de su granulometría y componente órgano-mineral. pp. 29-46. *In*: Mixquititla-Casbis, G. (ed.). Rendimiento y calidad de la fresa en respuesta a diferentes sustratos y nutrición inorgánica. Tesis de Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural. Facultad de Ciencias Agropecuarias, UAEM. (En proceso).
- Morgan, L. 2002. Producción intensiva de fresa. Productores de Hortalizas 11(8): 14-17.
- NMX-FF-062-SCFI-2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Fruta fresca. Fresa (*Fragaria x ananassa*, Dutch). Especificaciones y método de prueba (Cancela a la NMX-FF-062-1987).

- Ortega, M. L. D.; Martínez, V. C.; Ocampo, M. J.; Sandoval, C. E. y Pérez, A. B. 2016. Eficiencia de sustratos en el sistema hidropónico y de suelo para la producción de tomate en invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 7(3):643-653.
- Peil, R. M. y Gálvez, J. L. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Current Agricultural Science and Technology*. 11(1):5-11
- Restrepo, A. P.; García, G. J.; Moral, R.; Vidal, F.; Pérez, M. M. D.; Bustamante, M. Á. y Paredes, C. 2013. Análisis de costes comparativo del uso de compost derivados de procesos de biometanización en sustitución de turbas en semilleros hortícolas comerciales. *Ciencia e investigación agraria*. 40(2):253-264.
- Romero-Romano, C. O.; Ocampo-Mendoza, J.; Sandoval-Castro, E. y Tobar-Reyes, J. R. 2012. Fertilización orgánica-Mineral y orgánica en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananasa* Duch.) Bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai*. 8(3):41-49.
- Roudeillac, P. y K. Trajkovski. 2004. Breeding for fruit quality and nutrition in strawberries. *Acta Horticulturae*. 649(1): 55-59.
- SAS Institute. 2000. Statistical analysis system. Release 8.1. Cary, NC, USA.
- Steiner, A. 1984. The universal nutrient solution. In: I. S. O. S. C. Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture. The Netherlands. 633-649 pp.
- Urrestarazu, G.M. 2004. Tratado de cultivos sin suelo. Mundi-Prensa. 3ª ed. Madrid. 914p.
- Villegas-Torres, O. G.; Domínguez, P. M. L.; Albavera, P. M.; Andrade, R. M.; Sotelo, N. H.; Martínez, R. M. G.; Castillo C. C. y Magadan, S. M. C. 2017. Sustrato como material de última generación. *OmniaScience Monographs*. 52 p.
- Villegas-Torres, O. G.; Sánchez-García, P.; Baca-Castillo, G. A.; Rodríguez-Mendoza, M. N.; Trejo, C.; Sandoval-Villa, M. y Cárdenas-Soriano, E. 2005. Crecimiento y estado nutrimental de plántulas de tomate en soluciones

nutritivas con diferente concentración de calcio y potencial osmótico. *Terra Latinoamericana*. 23(1):49-56.

Zamora-Morales, B. P.; Sánchez-García, P.; Volke-Haller, V. H.; Espinosa-Victoria, D. y Galvis-Spíndola, A. 2005. Formulación de mezclas de sustratos mediante programación lineal. *Interciencia*. 30(6): 69-81.

## CONCLUSIONES GENERALES

Las propiedades físicas y químicas de los materiales sólidos (vermiculita, polvo de coco y composta) son modificadas tanto por la naturaleza química del componente sólido como por la granulometría, por lo que la combinación entre ambos (componente:granulometría) son una estrategia para conformar sustratos con características específicas para el óptimo desarrollo de las plantas.

Las plantas de fresa producidas en hidroponía con base en régimen nutrimental de acuerdo con la etapa fenológica (vegetativa, reproductiva y fructificación) favorecen significativamente el diámetro ecuatorial del fruto y el rendimiento por planta

El Algoritmo Generador de Sustratos para Plántulas (Registro público: 03-2016-110712311200-01) generó cuatro sustratos con propiedades físicas dentro de los parámetros recomendados, con potencial para ser usados para producir fresa en contenedor.