



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

**SUSTRATO, SOLUCIONES NUTRITIVAS Y CONCENTRACIÓN
NUTRIMENTAL DE LAS ORQUÍDEAS EPIFITAS AMENAZADAS**

Paphiopedilum insigne y Laelia autumnalis

NADIA JIMÉNEZ PEÑA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2013

La presente tesis titulada: **Sustrato, soluciones nutritivas y concentración nutrimental de las orquídeas epífitas amenazadas *Paphiopedilum insigne* y *Laelia autumnalis*** realizada por la alumna: **Nadia Jiménez Peña**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS

EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



Ph.D. Manuel Sandoval Villa

ASESOR:



Ph. D. María Teresa Beryl Colinas León

ASESOR:



Ph. D. Jesús Pérez Moreno

ASESOR:



D. en C. Víctor Manuel Ordaz Chaparro

ASESOR:



Dra. en C. Martha Elena Pedraza Santos

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Agosto de 2013

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi cariño, respeto y admiración:

A mi hermano Iván de J. Jiménez Peña

Me enseñaste la importancia de recuperarse de los golpes de la vida, y no dejar de luchar cada día.

¡Te quiero hermano y cuenta siempre con mi apoyo!

A mis padres: Jorge Jesús Jiménez Jiménez y María de los Ángeles Peña Linares, son la esencia de mí ser.

A mi tío-padrino Rubén Robles Jiménez, María Crispina Mata Hernández, Candelaria Peña Linares, René Bertoldo Dávila Sangabriel, Mariana Badillo Bárcenas, Ernesto Fernández Herrera, Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar y a todos aquellos que no he mencionado, por estar en los buenos y malos momentos de la vida.

A mis hermanos que no tienen voz, que día a día sufren dolor y agonía en alguna calle de algún lugar del mundo soportando la indiferencia de millones de seres humanos.



AGRADECIMIENTOS

Al pueblo de México, que a través de su Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), hicieron posible la obtención del presente grado académico.

Al Colegio de Postgraduados, especialmente al Programa de Edafología por brindarme la oportunidad de continuar con mi preparación profesional.

Al Ph. D. Manuel Sandoval Villa, por sus enseñanzas, consejos y apoyo incondicional durante los buenos y malos momentos de la vida, así como en el proceso de mi formación y el tiempo concedido en la revisión de este trabajo.

A la Ph. D. María Teresa Beryl Colinas León, quien ha demostrado ser una fuente constante de apoyo durante mi formación académica, así como la realización, culminación de la presente investigación.

Al Ph. D. Jesús Pérez Moreno, por su apoyo y revisión de la presente investigación, así como sus consejos.

A la Dra. Martha Pedraza Santos, por el apoyo brindado para el establecimiento de los experimentos y las sugerencias brindadas para ésta investigación. Le agradezco además los consejos en momentos difíciles.

Al Dr. Víctor Manuel Ordaz Chaparro por las sugerencias para la realización de ésta investigación.

Al Dr. Víctor Volke Haller, por el apoyo, sugerencias y su amplia disposición para la realización del presente trabajo.

A los profesores del Programa de Edafología por compartir sus conocimientos, tiempo y experiencia para mi formación académica.

A mis compañeros de maestría y doctorado, por los buenos y agradables momentos que compartimos.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN GENERAL	1
GENERAL ABSTRACT	3
CAPÍTULO I	5
INTRODUCCIÓN GENERAL	5
OBJETIVO GENERAL	7
OBJETIVOS PARTICULARES.....	7
HIPÓTESIS	7
REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
Importancia de las orquídeas como plantas ornamentales	8
Botánica de las orquídeas.....	8
Descripción de <i>Laelia</i> y <i>Paphiopedilum</i>	9
Sustratos para orquídeas epífitas	12
Concentración nutrimentos en orquídeas	14
Fertilización	15
Biofertilizantes.....	17
Soluciones nutritivas	18
Micorrizas en las orquídeas	18
LITERATURA CITADA.....	21
CAPÍTULO II	27
EVALUACIÓN DE SUSTRATO PARA EL DESARROLLO DE <i>Paphiopedilum</i> <i>insigne</i> Y <i>Laelia autumnalis</i> BAJO CONDICIONES HIDROPÓNICAS.....	27
RESUMEN	27
INTRODUCCIÓN	28
MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
Sustrato.....	30

Variables evaluadas.....	32
Diseño y análisis estadístico	33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
Interacción soluciones nutritivas * especie.....	37
CONCLUSIONES.....	46
LITERATURA CONSULTADA.....	46
CAPÍTULO III	49
DESARROLLO VEGETATIVO POR EL USO DE SOLUCIONES NUTRITIVAS EN DOS ESPECIES DE ORQUÍDEAS	49
RESUMEN	49
ABSTRACT	50
INTRODUCCIÓN	51
MATERIALES Y MÉTODOS	53
Sustrato.....	54
Soluciones nutritivas	54
Manejo del experimento.....	55
Variables de estudio.....	55
Diseño de tratamiento.....	56
Diseño experimental y análisis de datos	56
RESULTADOS	57
Desarrollo vegetativo	57
Lecturas SPAD	58
Peso fresco y seco.....	58
Interacción solución nutritiva*especie	59
DISCUSIÓN	60
CONCLUSIÓN	71
LITERATURA CITADA.....	71
CAPÍTULO IV	74

EFFECTO DE FERTILIZACIÓN SOBRE LA CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL DE <i>Laelia autumnalis</i> Y <i>Paphiopedilum insigne</i>	74
RESUMEN	74
INTRODUCCIÓN	75
MATERIALES Y MÉTODOS	78
Establecimiento del experimento	78
Análisis nutrimental	79
Diseño de tratamientos.	80
Diseño experimental y análisis de datos.	80
RESULTADOS	82
Nitrógeno, Fósforo y Potasio (N, P y K).	82
Calcio, Magnesio y Azufre (Ca, Mg y S).	82
Micronutrientes.....	83
Manganeso y Zinc (Mn y Zn)	83
Cobre (Cu)	84
Boro y Sodio (B y Na)	84
DISCUSIÓN	84
CONCLUSIONES.....	91
LITERATURA CONSULTADA.....	91
CAPÍTULO V	95
DISCUSIÓN GENERAL	95
CONCLUSIONES GENERALES.....	99
LITERATURA CONSULTADA.....	100
Anexo I	102
Anexo II	110
COLONIZACIÓN MICORRÍZICA DE LA ORQUÍDEA <i>Laelia autumnalis</i>	110
INTRODUCCIÓN	110
MATERIALES Y MÉTODOS	112
Ubicación del área experimental y especie de estudio.	112

Análisis estadístico.....	113
RESULTADOS PRELIMINARES	113
CONCLUSIONES.....	124
LITERATURA CONSULTADA.....	124

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
CAPÍTULO I		
1	Cuadro 1. Concentración de nutrimentos en <i>Cypripedium</i> sp.	14
2	Cuadro 2. Concentración nutrimental promedio en diferentes órganos de plantas de <i>Laelia speciosa</i> .	15
CAPÍTULO II		
1	Cuadro 1. Propiedades físicas de sustratos y mezclas realizadas para el desarrollo de orquídeas epifitas.	31
2	Cuadro 2. Análisis de varianza y comparación de medias del sustrato utilizado para el desarrollo de <i>Paphiopedilum insigne</i> .	39
3	Cuadro 3. Análisis de varianza y comparación de medias del sustrato para el desarrollo de <i>Laelia autumnalis</i> .	40
CAPÍTULO III		
1	Cuadro 1. Concentración (mg L ⁻¹) de las soluciones nutritivas utilizadas.	54
2	Cuadro 2. Análisis químico del agua de pozo utilizada para preparar las soluciones nutritivas.	55
3	Cuadro 3. Análisis de varianza y comparación de medias para variables vegetativas y lecturas SPAD de la orquídea <i>Paphiopedilum insigne</i> .	64
4	Cuadro 4. Análisis de varianza y comparación de medias en el desarrollo vegetativo de la orquídea <i>Laelia autumnalis</i> durante el año 2010.	65

5	Cuadro 5. Análisis de varianza y comparación de medias para variables vegetativas y lecturas SPAD de la orquídea <i>Laelia autumnalis</i> en 2011.	66
6	Cuadro 6. Resumen de análisis de varianza de las dos especies de orquídeas evaluadas durante 2 años tres meses en soluciones nutritivas.	67

CAPÍTULO IV

1	Cuadro 1. Concentración (mg L ⁻¹) de las soluciones nutritivas utilizadas para irrigar las orquídeas.	79
2	Cuadro 2. Análisis químico del agua de pozo utilizada para preparar las soluciones nutritivas.	79
3	Cuadro 3. Análisis químico inicial en diferentes órganos de las orquídeas <i>Laelia autumnalis</i> y <i>Paphiopedilum insigne</i> .	88
4	Cuadro 4. Efecto de la solución nutritiva y distribución de los nutrimentos en órganos de <i>Laelia autumnalis</i> 2009-2011.	89
5	Cuadro 5. Efecto de la solución nutritiva y distribución de los nutrimentos en órganos de <i>Paphiopedilum insigne</i> .	90

ANEXO II

1	Cuadro 1. Descripción de los sitios de estudio en donde se colectaron raíces de <i>Laelia autumnalis</i> .	112
2	Cuadro 2. Análisis de varianza y comparación de medias para la variable presencia de hifas en raíces de la orquídea <i>Laelia autumnalis</i> colectadas en siete sitios de estudio (m.o. = materia orgánica).	117
3	Cuadro 3. Análisis de varianza y comparación de medias para la variable presencia de pelotones en raíces de la orquídea <i>Laelia autumnalis</i> colectadas en siete sitios de estudio (m.o. = materia orgánica).	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
CAPÍTULO II		
1	Figura 1. Respuesta del sustrato a las soluciones nutritivas. <i>Paphiopedilum insigne</i> : A) Testigo, B) Wynd, C) Hoagland-Arnon, D) Steiner; <i>Laelia autumnalis</i> : E) Testigo, F) Wynd, G) Hoagland-Arnon, H) Steiner.	41
2	Figura 2. Respuesta del sustrato a la aplicación de soluciones nutritivas durante el cultivo de dos especies de orquídeas desarrolladas en condiciones hidropónicas. (A) Porosidad total, (B) Porosidad de aireación, (C) Capacidad de retención de agua, (D) Densidad aparente.	42
3	Figura 3. Propiedades físicas y químicas del sustrato como respuesta a la aplicación de soluciones nutritivas durante el cultivo hidropónico de las dos especies de orquídeas. (E) pH, (F) Conductividad eléctrica, (G) Capacidad de intercambio catiónico, (H) Materia orgánica.	43
4	Figura 4. Concentración de micronutrientes en el sustrato como respuesta a la aplicación de soluciones nutritivas te el cultivo hidropónico de dos especies de orquídeas. (I) Nitrógeno total, (J) Fósforo, (K) Potasio, (L) Calcio, (M) Magnesio, (N) Azufre.	44
5	Figura 5. Concentración de micronutrientes en el sustrato como respuesta a la aplicación de soluciones nutritivas con las dos especies de orquídeas desarrolladas en condiciones hidropónicas. (Ñ) Fierro, (O) Manganeso, (P) Zinc, (Q) Cobre, (R) Cloro, (S) Sodio.	45

CAPÍTULO III

- | | | |
|---|--|----|
| 1 | Figura 1. Respuesta las soluciones nutritivas con las dos especies de orquídeas desarrolladas en condiciones hidropónicas. (A) Peso seco total, (B) Peso seco raíz, (C) Peso fresco total, (D) Peso fresco raíz. | 68 |
| 2 | Figura 2. Respuesta a las soluciones nutritivas con las dos especies de orquídeas desarrolladas en condiciones hidropónicas. (A) Lecturas SPAD en hojas maduras promedio, (B) Lecturas SPAD en hojas maduras punta, (C) Lecturas SPAD en hojas maduras media, (D) Lecturas SPAD en hojas maduras base. | 69 |
| 3 | Figura 3. Respuesta a las soluciones nutritivas con las dos especies de orquídeas desarrolladas en condiciones hidropónicas. (A) Lecturas SPAD en hojas nuevas promedio, (B) Lecturas SPAD en hojas nuevas punta, (C) Lecturas SPAD en hojas nuevas media, (D) Lecturas SPAD en nuevas base. | 70 |

ANEXO I

- | | | |
|---|---|-----|
| 1 | Figura 1. Efecto final en 16 repeticiones del testigo en el desarrollo vegetativo de <i>Paphiopedilum insigne</i> . | 102 |
| 2 | Figura 2. Efecto final en 16 repeticiones de la solución Wynd en el desarrollo vegetativo de <i>Paphiopedilum insigne</i> . | 103 |
| 3 | Figura 3. Efecto final en 16 repeticiones de la solución Hoagland-Arnon en el desarrollo vegetativo de <i>Paphiopedilum insigne</i> . | 104 |
| 4 | Figura 4. Efecto final en 16 repeticiones de la solución Steiner en el desarrollo vegetativo de <i>Paphiopedilum insigne</i> . | 105 |

5	Figura 5. Efecto final en 12 repeticiones del testigo en el desarrollo vegetativo de <i>Laelia autumnalis</i> .	106
6	Figura 6. Efecto final en 12 repeticiones de la solución Wynd en el desarrollo vegetativo de <i>Laelia autumnalis</i> .	107
7	Figura 7. Efecto final en 12 repeticiones de la solución Hoagland-Arnon en el desarrollo vegetativo de <i>Laelia autumnalis</i> .	108
8	Figura 8. Efecto final en 8 repeticiones de la solución Steiner en el desarrollo vegetativo de <i>Laelia autumnalis</i> .	109

ANEXO II

1	Figura 1. a) Planta de <i>Laelia autumnalis</i> , b) flor, c) tipo de raíces, d) corte transversal en raíz, e) cilindro central sin presencia de pelotones, f) corte transversal con presencia de pelotones.	122
2	Figura 2. Colonización micorrízica en raíces de <i>Laelia autumnalis</i> . a) Pelotones teñidos con fucsina ácida en diferentes estados de digestión, b) pelotones en epidermis, c) acercamiento de pelotones a 100x, d) extracción de un pelotón.	123

RESUMEN GENERAL

SUSTRATO, SOLUCIONES NUTRITIVAS Y CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL DE LAS ORQUÍDEAS EPÍFITAS AMENAZADAS *Paphiopedilum insigne* Y

Laelia autumnalis

Jiménez Peña Nadia, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2013.

Debido a que las orquídeas se desarrollan en una gran variedad de climas y condiciones ambientales, las diferentes especies tienen requerimientos específicos. La información disponible sobre sustratos y fertilizantes en orquídeas sugiere que muchos materiales son útiles para su cultivo, pero la mayoría de estos conocimientos se basan en experiencias personales y no en estudios científicos. Por lo se ha sugerido la necesidad de estudiar los diversos medios de cultivo. En los últimos años se ha demostrado que el tipo de sustrato y la fertilización es fundamental en la respuesta de las orquídeas. Además, la familia Orchidaceae establece el tipo de micorriza orquideoide, generalmente hongos de la clase Basidiomycotina. Estos hongos son endófitos y se caracterizan por la presencia de nudos intracelulares, que corresponden a hifas densamente enrolladas dentro de las células corticales. Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue estudiar el efecto de tres soluciones nutritivas sobre el desarrollo y crecimiento de dos especies de orquídeas, así como caracterizar un sustrato para su desarrollo, además estudiar la colonización micorrízica. El diseño experimental fue completamente al azar y los tratamientos consistieron de la combinación de dos especies: *Phaphiopedilum insigne* y *Laelia autumnalis*, y tres soluciones nutritivas Hoagland-Arnon (1938), Steiner (1984), Wynd (1933) y agua de pozo (testigo). Las

plantas se desarrollaron en un sustrato con 64% de porosidad total, 26% de retención de agua y 38% de capacidad de aireación. Las variables de estudio fueron: propiedades físicas y químicas del sustrato, concentración de macros y micronutrientes en plantas y variables morfológicas de las plantas. Como resultados se encontró que las orquídeas responden a las diferentes soluciones nutritivas modificando su desarrollo vegetativo. De igual forma las soluciones afectan la estabilidad y propiedades químicas del sustrato; sin embargo, las soluciones Wynd y Steiner provocan una descomposición más rápida de éste y un aumento en la concentración nutrimental de las plantas respecto al testigo. En el caso de la colonización micorrízica se encontró una elevada colonización además la intensidad de colonización micorrízica está influenciada por el contacto con el sustrato o materia orgánica, así como la sección de ésta.

Palabras clave: *Paphiopedilum insigne*, *Laelia autumnalis*, sustrato, concentración nutrimental, soluciones nutritivas y colonización micorrízica.

GENERAL ABSTRACT

SUBSTRATE, NUTRIENT SOLUTIONS AND NUTRIENT CONCENTRATION OF EPIPHYTES THREATENED ORQUIDEAS *Paphiopedilum insigne* AND *Laelia autumnalis*

Jiménez Peña Nadia

Since orchids occur in a wide variety of climates and environmental conditions, different species have specific requirements. The available information regarding substrates and fertilizers in orchids suggests that many materials are useful for cultivation, but most of this knowledge is based on personal experiences and not on scientific studies. For this reason it has been suggested the need to study the different culture media. In recent years it has been shown that the type of substrate and fertilization is essential in the response of the orchids. In addition, the family Orchidaceae is colonized by the mycorrhiza type orquideoide, usually mushrooms of the Basidiomycotina class. These fungi are endophytes and are characterized by the presence of intracellular knots, which correspond to hyphae densely coiled within the cortical cells. For this reason, the objective of this study was to study the effect of three nutrient solutions on growth of two species of orchids and the development, as well as characterizing a substrate for their development, in addition to studying the mycorrhizal colonization. The experimental design was completely randomized and the treatments consisted of the combination of two species: *Phaphiopedilum insigne* and *Laelia autumnalis*, and three nutrient solutions: Hoagland-Arnon (1938), Steiner (1984), Wynd (1933) and water from well (control). Plants were developed on a substrate with 64% of total porosity,

26% of water retention and 38% of aeration capacity. The study variables were: physical and chemical properties of the substrate, concentration of macro and micronutrients in plants and plants morphological variables. As results it was found that orchids respond to different nutrient solutions by modifying its vegetative development. In the same way solutions affect the stability and chemical properties of the substrate; however, Wynd and Steiner solutions cause a more rapid decomposition of this and an increase in the nutrient concentration of the plants with respect to the control. In the case of mycorrhizal colonization we encountered a high colonization and we found that the intensity of mycorrhizal colonization is also influenced by contact with the substrate or organic matter, as well as the root section (tip, middle or basal).

Key words: *Paphiopedilum insigne*, *Laelia autumnalis*, substrate, nutrient concentration, nutrient solutions and mycorrhizal colonization.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

En los últimos años la propagación de especies ornamentales ha cobrado una gran importancia, ya que la economía de muchos países, principalmente europeos, está basada en la comercialización de plantas ornamentales (Rosales, 1998). En este sentido las orquídeas han sido objeto de admiración y aprecio desde hace siglos. Muchas especies tienen flores muy bellas y su descubrimiento por la ciencia y la horticultura fue el origen de la orquideomanía del siglo XIX en Europa, la pasión por cultivar, conocer y estudiar esta familia de plantas, la más diversa del reino vegetal, se ha extendido a todo el mundo y continúa en nuestros días (Hágsater *et al.*, 2005).

Las orquídeas, al igual que todas las plantas, requieren de nutrimentos, cuyas fuentes son variadas, pero poco se conoce de éstas (Poole y Sheehan, 1982). Sin embargo, la principal fuente de nutrimentos para las orquídeas en su hábitat es la materia orgánica que se acumula en las ramas de los árboles y en la corteza, raíces, rizomas y hojas de las plantas (Tyson, 1995). Por tanto en el cultivo de las orquídeas destacan, en primer lugar, los aspectos nutrimentales, debido al poco conocimiento del uso y suministro eficiente de los fertilizantes, época y forma, para acelerar el crecimiento vegetativo de las plántulas, aumentar la floración temprana y prolongar la vida postcosecha (Smith, 1988). De acuerdo con algunos estudios realizados por Sessler (1978), Salinger (1991), Manrique (1993), Wang y Gregg (1994), Espinosa-Moreno (1997) y Jiménez (2008), entre otros autores, se comprobó que las orquídeas reaccionan a diferentes fertilizantes y soluciones

nutritivas. Lo anterior permite obtener plantas de una calidad comercial y flores con una más larga vida de florero. Sin embargo, los estudios se basan principalmente en híbridos de *Phalaenopsis*, dejando fuera muchas especies de orquídeas con interés comercial.

La mayoría de las orquídeas son plantas epífitas que viven en las zonas tropicales y subtropicales, la ocurrencia de micorrizas en ellas ha sido poco investigada, el cual es un tema importante y que requiere ser estudiado. El grupo mejor estudiado es el de las orquídeas terrestres, particularmente las nativas de Norteamérica, Europa, parte de Asia y Australia, en las cuales siempre se ha encontrado asociación con hongos micorrízicos (Suárez *et al.*, 2008).

Las orquídeas epífitas son capaces de tener una alta especificidad en la asociación de hongos (Otero *et al.*, 2002; Ma *et al.*, 2003; Suarez *et al.*, 2006). También se ha observado que las especies de orquídeas relacionadas parecen tener variación en los niveles de especificidad (Otero *et al.*, 2004; Shefferson *et al.*, 2007). La asociación micorrízica de las orquídeas es difícil de detectar, debido a que existe un gran número de orquídeas en todo el mundo y que se desarrollan en condiciones naturales diferentes.

OBJETIVO GENERAL

Estudiar el efecto de tres soluciones nutritivas sobre el desarrollo y crecimiento de dos especies de orquídeas y estudiar la colonización micorrízica en *Laelia autumnalis*.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Evaluar el efecto de las soluciones nutritivas en el sustrato.
- Evaluar las soluciones nutritivas Wynd, Hoagland-Arnon y Steiner sobre desarrollo, crecimiento y concentración nutrimental de las orquídeas *Laelia autumnalis* y *Paphiopedilum insigne*.
- Evaluar la colonización (presencia-ausencia) de hongos micorrízicos asociados con la orquídea epífita *Laelia autumnalis*.

HIPÓTESIS

- Las soluciones nutritivas modifican las características del sustrato.
- El desarrollo y crecimiento de *Laelia autumnalis* y *Paphiopedilum insigne* es influenciado por las soluciones nutritivas.
- Existe una intensa colonización micorrízica en la orquídea *Laelia autumnalis* estudiada en condiciones naturales.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia de las orquídeas como plantas ornamentales

En México, la floricultura tropical es una opción con alto potencial de desarrollo, puesto que los estados del sur del país cuentan con las condiciones naturales para su explotación. El 3% del mercado mundial de flores corresponde a flores tropicales, dentro de las cuales se encuentran las orquídeas, bromelias, gingers, proteas, heliconias y anturios, conocidas como flores exóticas (Valdez-Aguilar y Hernández-Olaya, 2005).

Las orquídeas han sido de las flores que tienen mayor preferencia como plantas de ornato, debido a su rareza, vistosos colores, aromas y formas. Sin embargo, enfrentan un problema: muchas de las especies endémicas están en peligro de extinción. Esto es producto de la alteración de su hábitat causado por la tala de bosques e incendios forestales, ocasionando que la flora y fauna esté desapareciendo. Adicionalmente, la colecta y saqueo inmoderado que han sufrido en el presente y en el pasado también contribuye a la extinción de orquídeas endémicas (Navarro-López *et al.*, 2001).

Botánica de las orquídeas

Las orquídeas son plantas herbáceas con una estructura básica similar a la de muchas otras monocotiledóneas; son perennes, epífitas o terrestres, a veces trepadoras, raramente subacuáticas, algunas veces saprófitas. Tienen hábito de crecimiento monopodial (con inflorescencias laterales y crecimiento apical

continuo) o simpodial (con crecimiento lateral sobre la superficie) (García-Cruz y Sosa, 1998).

Descripción de *Laelia* y *Paphiopedilum*

El género *Laelia* se encuentra entre uno de los más atractivos y sobresalientes de la flora de nuestro país, por poseer especies endémicas, pero algunas son hoy en día una rareza en México y en el mundo, por lo que se encuentran protegidas por la NOM-ECOL-059 para especies en peligro de extinción (Hágsater *et al.*, 2005).

Laelia autumnalis es una planta epífita; se distingue tener pseudobulbos oblongos, alargados, longitudinalmente arrugados, con 1 a 3 hojas oblongas, agudas, arqueadas, de hasta 17 cm de largo y 3.8 cm de ancho; la inflorescencia va de 40 a 70 cm de largo, con un racimo de 5 a 12 flores que abren en sucesión. Las flores son variables en tamaño, de 7 a 10 cm de diámetro, con fuerte fragancia en días con sol; posee sépalos lanceolados y los pétalos oblongo-lanceolados son de color rosa-púrpura o lila; el lóbulo medio del labelo ligeramente enrollado, de color más oscuro, los lóbulos laterales son erectos, blancos y con rayas rojas, bifurcadas en la garganta y en el centro con 3 quillas amarillentas; las flores son vistosas y pueden durar de 10 a 15 días en la planta (Halbinger, 1993; Halbinger y Soto, 1997).

Laelia es una especie endémica de México, que se distribuye en el centro del país, en los estados de Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, México, Morelos, Guerrero y Distrito Federal. Crece preferentemente sobre encinos y ocasionalmente sobre rocas en altitudes de 1800 a 2700 m, y es exclusiva de bosques de pino-encino,

caducifolios, secos o húmedos y frecuentemente abiertos (Halbinger, 1993; Ramírez, 1996 y Halbinger y Soto, 1997).

Paphiopedilum ("zapatilla de dama", "sandalia de Venus") es un género de unas 60 a 70 especies monopodiales terrestres de orquídeas de la Subfamilia *Cypripedioideae* de la familia Orchidaceae. Se distribuyen por el sureste de Asia tropical desde Birmania y China hacia el sur por Papúa, Nueva Guinea, Filipinas e islas del Océano Pacífico. Se encuentran muy amenazadas por la destrucción de su hábitat por la recolección abusiva a la que han estado sometidas (CITES; CITES Appendices 2008; Long *et al.*, 2010).

Las especies del género *Paphiopedilum*, se caracterizan por un labelo que parece una taza o saco y un sépalo dorsal prominente; son principalmente terrestres, sin embargo, a algunas se las puede encontrar creciendo epífitamente o litofíticamente y de tamaño moderado, con hojas rígidas, cerosas, o coriáceas, de verde brillante a moteado (VanZile, 2013).

Las hojas salen en forma de abanico de la base de la planta. Tiene poco o nada de tallo. Las flores presentan una forma característica que las diferencia, los sépalos laterales están fusionados en un sinsépalo que normalmente es pequeño, y oculto detrás del labelo con forma de saco. El sépalo dorsal normalmente es grande y espectacular. Los pétalos laterales pueden ser cortos y redondeados o largos y contorsionados, a veces decorados con pelos o verrugas. Lo más distintivo del género es el estaminodio con forma de placa en el centro de la flor.

Del centro de cada nuevo retoño se levanta erecto un escapo sosteniendo una flor individual, muy pocas veces dos.

Las orquídeas, al igual que todas las plantas requieren de nutrimentos; las fuentes de nutrientes son muchas, pero frecuentemente están pobremente documentados. La atmósfera es otra fuente de nitratos, especialmente durante las tormentas eléctricas, el agua que corre por encima de la superficie de las hojas de los árboles hospederos, que lixivia minerales y nutrimentos orgánicos de las hojas. De esta manera el dosel de las hojas de los árboles hospederos se convierte en una fuente de nutrimentos que enriquecen el agua una vez que ésta llega hasta las orquídeas (Poole y Sheehan, 1982). Sin embargo, la principal fuente de nutrimentos para estas plantas es probablemente la lenta descomposición de la materia orgánica que se acumula en las ramas de los árboles y en la corteza, raíces, rizomas y hojas de las plantas (Tyson, 1995).

Para su desarrollo sobre los árboles y las rocas, las orquídeas han desarrollado una capa que envuelve a las raíces llamado “velamen”, parecido a un forro esponjoso que puede ser blanco o verdoso; este último color lo adquieren porque en él se realiza fotosíntesis, inclusive hay casos extremos en que todo el proceso lo realizan las raíces, desapareciendo las hojas por completo (Hágsater *et al.*, 2005; Pinske, 2004).

La función general del velamen es facilitar la absorción y retención de agua, lo cual es de gran importancia para las especies que viven sobre las ramas de los árboles, donde el agua no siempre está disponible, ya que ésta sólo se obtiene

cuando llueve. Además de esas raíces, cuya función es absorber agua y nutrientes y fijar la planta al sustrato, algunas orquídeas epífitas producen un tipo diferente de raíces, que consiste en raicillas muy delgadas y rígidas que crecen verticalmente hacia arriba y contribuyen a enriquecer el sustrato de la planta al capturar hojarasca y otros detritos orgánicos (Hágsater *et al.*, 2005).

Las orquídeas presentan micorrizas en sus raíces, poseen las endomicorrizas orquidioides, llamadas de ovillo, y tal vez representan el tercer tipo más importante de micorrizas, ya que estas plantas son dependientes en estado juvenil del protocormo de sus hongos simbioses (Rasmussen, 1995).

Sustratos para orquídeas epífitas

Los sustratos para siembra de orquídeas son diversos, pero el más común es la “Osmunda”, comúnmente denominada musgo de orquídeas, que está constituido por raíces de *Osmunda regalis* (helecho real) y *Polipodium* (Monk, 1995).

Entender las propiedades de los materiales de siembra permite seleccionar el mejor medio por lo que debe contemplar lo siguiente: que proporcione un buen soporte a la planta y mantener la humedad y aireación. Los sustratos para orquídeas recomendados que contienen estas características son los siguientes: Sphagnum moss, árbol de helecho, fibra de Osmunda, tozos y fibras de coco, lava de roca, carbón vegetal, corcho, turba y lana de roca. Por ejemplo: en Hawai se conoce del uso de la cáscara de nuez de macadamia. Otro ejemplo es en Columbia Británica, donde se utiliza perlita. En Francia, un cultivador utiliza cáscara de maní, y en Tailandia se utilizan las medias cáscaras de coco inmaduro,

entre otros. En los Estados Unidos, el material de siembra más utilizado es la corteza de abeto y el Sphagnum moss (Anónimo, 2002).

Las siguientes mezclas también se utilizan como sustratos para materiales de siembra de orquídeas (Anónimo, 2002):

Mezcla A- Sphagnum moss. "Premium" de alta calidad, Sphagnum moss natural o puro es bastante fibroso, se puede usar esa mezcla para varios años.

Mezcla B- Semi-terrestres. La mezcla consiste de cuatro partes de corteza fina de pino, una de perlita expandida, una de trozos de Sphagnum moss y una de fino árbol de helecho. Una variación de esta mezcla sería incluir una parte de lana de roca o un material similar. La mezcla puede durar dos años.

Mezcla C- Corteza de pino fina. La mezcla consiste de: cuatro partes de corteza fina y una de perlita expandida. La mezcla dura 2 años.

Mezcla E- árbol de helecho: Este consiste de 100% de médium de árbol de helecho. La mezcla dura de dos a tres años.

Mezcla F- Cáscara de coco. Consiste en 100% de cáscara de coco, suavizar el material antes porque es denso, ya que reduce la circulación del aire y podría retener agua mucho tiempo. Utilizar cada tres a cinco años con esta mezcla. El uso de estas mezclas se usa principalmente para *Vandas* y *Stanhopeas* en maceta.

Sin embargo, como ya se mencionó, la mayoría de estos conocimientos se basan en experiencia personal y no en estudios científicos, por lo que este tema también debe de ser estudiado.

Concentración nutrimentos en orquídeas

Jones *et al.* (1991) indican la concentración nutrimental para *Cypripedium sp.*, según se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Concentración de nutrimentos en *Cypripedium sp.*

Nutrimento	Rango de concentración		
	Bajo	Suficiente	Alto
Macronutrimentos (%)			
N	0.80-1.29	2.0-3.5	>3.5
P	0.15-0.19	0.2-0.7	>0.7
K	1.50-1.99	2.0-3.5	>3.5
Ca	0.50-0.74	0.75-2.0	>2.0
Mg	0.15-0.19	0.20-0.70	>0.7
S	0.15-0.19	0.2-0.7	>0.7
Micronutrimentos (mg kg ⁻¹)			
Cu	2-4	5-20	>20
Zn	20-24	25-200	>200
Mn	40-49	50-200	>200
Fe	40-49	50-200	>200
B	0-24	25-75	>75

Velásquez (2001) reportó las concentraciones nutrimentales en diferentes órganos de *Laelia speciosa* dados en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Concentración nutrimental promedio en diferentes órganos de plantas de *Laelia speciosa*.

Nutrimento	Hoja	Raíz	Pseudobulbo
Macronutrientos (%)			
N	1.28	1.28	1.00
P	0.07	0.07	0.90
K	1.967	0.60	0.93
Ca	1.957	0.42	0.55
Mg	0.480	0.29	0.25
Micronutrientos (mg kg ⁻¹)			
Fe	178.3	1275.0	168.67
Zn	13.86	30.6	14.1
Mn	60.67	61.13	18.57
B	0.110	0.140	0.077

Fertilización

Entre los problemas más frecuentes e importantes del cultivo de orquídeas en invernadero, en primer término, el aspecto nutrimental, debido al desconocimiento del uso y suministro eficiente de los fertilizantes para acelerar el crecimiento

vegetativo de las plántulas, aumentar la floración temprana y prolongar la vida postcosecha (Smith, 1988).

A pesar de la oleada en la producción de orquídeas en maceta durante la última década, la investigación en los Estados Unidos para desarrollar la información detallada para la producción masiva de orquídeas en maceta se ha limitado. Mientras que la información sobre medios y fertilidad de la orquídea sugiere que muchos materiales son útiles para crecer orquídeas, la mayoría de este conocimiento se basa en experiencia personal y no en estudios científicos. Los investigadores han sugerido la necesidad de investigar al respecto (Poole y Sheehan, 1977; Sheehan, 1961).

Dentro de las investigaciones podemos mencionar la de Sessler (1978) donde se estudiaron los géneros de *Cattleya*, *Epidendrum* y *Laelia*, en donde se recomendó fertilizar con nitrógeno, fósforo y potasio con 20-10-10 y 20-20-20 para inducir la formación de yemas florales, y 10-30-20 para la floración. El tratamiento 30-10-10 es alto en nitrógeno ideal para plantas que crecen en sustrato de corteza.

Manrique (1993) encontró que las orquídeas necesitan pequeñas cantidades de fertilizante ya que tienen un crecimiento lento. Este autor menciona que para *Cymbidium* y *Phalaenopsis* son óptimas las aplicaciones de 100, 50 y 25 mg kg⁻¹ de N, K y Mg, respectivamente, son óptimas. Para *Cattleya* se obtiene un crecimiento óptimo con 50 mg kg⁻¹ de N, P y K. Salinger (1991) menciona que se pueden utilizar fertilizantes de lenta liberación para *Cymbidium* (como el Osmocote), que pueden ser de corto plazo (1 a 4 meses) y que aporta 70, 31, 58

g m⁻³ de N, P y K respectivamente, o de largo plazo (cada ocho meses) aportando 360, 52, 200 g m⁻³ de N, P y K, respectivamente.

Wang y Gregg (1994) realizaron investigaciones en *Phalaenopsis* sobre la interacción de fertilizantes, donde se utilizó 20-8.6-16 de N-P-K durante dos ciclos de floración, en tres niveles (0.25, 0.5 y 1.0 g L⁻¹). Los fertilizantes se aplicaron en forma soluble en el agua de riego. Las plantas presentaron diferencias significativas en emergencia de inflorescencias, días a floración, día de la emergencia y la floración de *Phalaenopsis*, los mejores niveles fueron aplicando 0.25 y 0.50 g L⁻¹.

En otro estudio se encontró que *Phalaenopsis* y *Dendrobium* plantadas en maceta con corteza grande de abeto al 100% no crecieron adecuadamente y produjeron pocas flores, en comparación con aquellas que fueron plantadas en una mezcla de corteza, turba y vermiculita (Wang, 1996).

En 1998, la Sociedad Americana de Orquideología sugirió que se utilicen los fertilizantes comerciales 10-5-5, 3-12-6 y 7-7-7 alternándolos en diferentes etapas del desarrollo de las orquídeas.

Biofertilizantes

Espinosa-Moreno (1997) probó el efecto de cuatro fertilizantes comerciales, con y sin micorrizas, sobre el crecimiento y desarrollo de *Phalaenopsis*. Las fórmulas N-P₂O₅-K₂O de los fertilizantes comerciales fueron 20-20-20, 19-31-17, 15-30-15 y 13-13-13, con y sin micorrizas, donde el tratamiento 19-31-17 sin micorrizas y 15-

30-15 con micorrizas obtuvo buenos resultados en la formación de botones florales y una calidad aceptable de flores comerciales.

Soluciones nutritivas

En general, se aceptaba que las orquídeas son plantas que no responden a la fertilización constante, o bien responden lentamente a esta práctica. Sin embargo, algunos estudios, han demostrado que las orquídeas responden a la fertilización con solución nutritiva, acelerando el crecimiento de *Phalaenopsis*, *Dendrobium*, *Cymbidium* y el híbrido *Laeliocattleya*, aunque la respuesta también es función del sustrato (Wang, 1996).

Jiménez-Peña *et al.* (2013) probó diferentes dosis de fertilización en *Laelia anceps* basadas en la solución de Hoagland y alternando con diferentes sustratos y, obtuvo un buen desarrollo de vegetativo y de raíz utilizando solución al 100 y 66% en un sustrato de turba (Jiménez, 2008).

Micorrizas en las orquídeas

Desde finales del siglo XIX se conoce de la existencia de micorrizas en las raíces de las orquídeas, pero la importancia de esta observación se llegó a comprender cuando se entendió su papel en la nutrición y germinación de semillas (Rivas *et al.*, 1998).

A pesar de que la mayoría de las orquídeas son plantas epífitas que viven en las zonas tropicales y subtropicales, la ocurrencia de micorrizas en ellas ha sido poco investigada. El grupo mejor estudiado es el de las orquídeas terrestres,

particularmente las nativas de Norteamérica, Europa, parte de Asia y Australia, en las cuales siempre se ha encontrado asociación con hongos micorrízicos (Suárez *et al.*, 2008).

Los pocos estudios realizados en orquídeas tropicales han mostrado grados variables de asociación micorrízica. Algunos autores han encontrado que la asociación es esporádica en la mayoría de los casos o menos común que en las orquídeas terrestres de zonas templadas. Otros autores han reportado que las orquídeas tropicales pueden ser infectadas por hongos micorrízicos tan fuertemente como las orquídeas de zonas templadas (Suárez *et al.*, 2008).

El establecimiento de micorrizas depende de la distribución y de la densidad de la flora fúngica en el ambiente y de que las raíces entren en contacto con el sustrato. La abundancia de micorrizas sugiere una amplia distribución de los hongos en bosques, lo que ayuda a explicar la alta regeneración natural de las orquídeas que viven en el lugar (Rivas *et al.*, 1998).

La alta especificidad micorrízica de las orquídeas hacia los hongos, comparado con otras simbiosis micorrízicas y en particular con las orquídeas mico-heterotróficas, plantean la idea de que la especificidad micorrízica está ligada a una unilateral relación orquídea-hongo. Si el hongo recibe poco o ningún beneficio de la simbiosis, como algunas evidencias lo sugieren, entonces las orquídeas pueden ser consideradas parásitas. Los parásitos frecuentemente exhiben una alta especificidad debido a que a través de la evolución se han seleccionado razas (Taylor y Bruns, 1997). La especificidad fúngica es una característica de otros

grupos de plantas para obtener carbón a través de los hongos. Por ejemplo, Girlanda *et al.* (2006) especularon que el grado de especificidad puede ser correlacionado con el nivel de heterotrofismo. Algunas orquídeas con especificidad a un grupo estrecho de hongos han mostrado que su germinación *in vitro* es más eficiente (Bonnardeaux *et al.*, 2007). Asimismo, los estudios con isótopos estables de C y N han ayudado a un mejor entendimiento de las micorrizas mico-heterotróficas (Gebauer y Meyer, 2003; Bidartondo *et al.*, 2008) y pueden proveer evidencias para entender las diferencias en los niveles de especificidad en las orquídeas (Materman y Bidartondo, 2008).

Aunque el grado de especificidad varía entre las micorrizas de orquídeas, la especificidad limitada de orquídeas hacia hongos, (y la no especificidad de hongos hacia orquídeas), al parecer es un hecho común, y esto probablemente tiene un mayor impacto en la ecología y distribución de estas plantas (Rasmussen y Whigham, 2002).

Respecto a lo revisado sobre micorrizas y su relación con las orquídeas se concluye que la relación es poco frecuente. También se encontró que se desconocen en gran medida sus relaciones ecológicas, esto porque existe un gran número de orquídeas en todo el mundo y desarrollándose en condiciones naturales diferentes, además la fisiología molecular en las interacciones micorriza-orquídea ha sido el tema relevante de algunos estudios, los cuales sugieren se continúe trabajando sobre la interacción que existe entre los hongos micorrízicos y las orquídeas.

LITERATURA CITADA

AOS. American Orchid Society 16700 AOS Lane. Delray Beach, Florida 33446-4351. orchidweb.org

Anónimo, 2002. Venany Orchid; A Comprehensive Guide to orchid Culture. New York, USA. 37 p.

Bidartondo M. I., Burghardt B., Gebauer G., Bruns T.D., Read D.J. 2004. Changing partners in the dark: isotopic and molecular evidence of ectomycorrhizal liaisons between forest orchids and trees. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 271:1799–1806.

Bonnardeaux Y., Brundrett M., Batty A., Dixon K., Koch J., Sivasithamparam K. 2007. Diversity of mycorrhizal fungi of terrestrial orchids: compatibility webs, brief encounters, lasting relationships and alien invasions. *Mycological Research* 111, 51–61.

Espinosa-Moreno, J. A. 1997. Fertilización química y biológica de tres híbridos de orquídeas en condiciones de invernadero. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 111 p.

García-Cruz, J., y Sosa, V. 1998. ORCHIDACEAE I. Clave de Subfamilias y Tribus. Flora de Veracruz. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Ver., México. Fascículo 106. pp 13.

Gebauer G., Meyer M. 2003. N-15 and C-13 natural abundance of autotrophic and myco-heterotrophic orchids provides insight into nitrogen and carbon gain from fungal association. *New Phytologist* 160: 209–223.

Girlanda, M., Selosse M. A., Cafasso D., Brilli F., Delfine S., Fabbian R., Ghignone S., Pinelli P., Segreto R., Loreto F., Cozzolino S., and Perotto S. 2006. Inefficient photosynthesis in the mediterranean orchid *Limodorum abortivum* is mirrored by specific association to ectomycorrhizal Russulaceae. *Molecular Ecology* 15:491-504.

Hágsater, E., Soto, M., Salazar, G., Jiménez, R., López, M., y Dressler, R. 2005. *Las orquídeas de México*. Instituto Chinoín, México. p. 304.

Halbinger, F. 1993. *Laelias de México*. Asociación Mexicana de Orquideología. México. 72 p.

Halbinger, F. y Soto, M. 1997. *Laelias of México*. Herbario AMO. *Revista Orquídea México*. Vol 15. 15 p.

Jiménez, P., N. 2008. *Sustratos y fertilización en el desarrollo vegetativo de la orquídea Laelia anceps*. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México. 100 p.

Jiménez-Peña. N., Valdez-Aguilar L. A., Castillo-González, A. M., Colinas-León M. T., Cartmill, A. D. and Cartmill, D. L. 2013. Growing media and nutrient solution concentration affect vegetative growth and nutrition of *Laelia anceps* Lindl. *HortScience* 48(6):773–779.

Jones, B. J., Wolf, B. Jr, and Mills, H. A. 1991. Plant analysis handbook. A practical sampling, preparations, analysis, and interpretation guide. Micro macro publishing. Athens. GA, USA. p. 213.

Long B., Niemeira A.X, Cheng ZY, Long Cl. 2010. *In vitro* propagation of four threatened *Paphiopedilum* species (Orchidaceae). Plant Cell Tiss. Organ Cult. 101:151–162.

Ma, M., T. K. Tan, and S.M. Wong. 2003. Identification and molecular phylogeny of *Epulorhiza* isolates from tropical orchids. Mycological Res. 107: 1041–1049.

Manrique, L. A. 1993. Greenhouse crops: A review. J. Plant Nutrition 16:2411-2477.

Monk, R. 1995. A new comer. Guide to orchids. Orchid Rev. 103 No.1204. 215 p.

Navarro-López, E. R., Vázquez, I. G., Cruz-San Pedro, E. V. y Bastida- Tapia, A. 2001. Botánica e Identificación de Orquídeas. Serie AGRIBOT No. 6. Chapingo, Estado de México, México. p 54.

Otero, JT, J.D. Ackerman, P. Bayma. 2002. Diversity and host specificity of endophytic *Rhizoctonia*-like fungi from tropical orchids. American Journal of Botany 89: 1852–1858.

Otero, J. T, J.D. Ackerman, and P. Bayman. 2004. Differences in mycorrhizal preferences between two tropical orchids. Molecular Ecology 13: 2393–2404.

Pinske, J. 2004. Manuales Prácticos. Orquídeas. Las especies e híbridos más bellos. Como elegirlas y cuidarlas. Omega. Barcelona. España. p. 95.

Poole, H. A. y Sheehan, T. J. 1977. Effect of artificial light sources, intensity, watering frequency, and fertilization practices on growth of *Cattleya*, *Cymbidium*, and *Phalaenopsis* orchids. The American Orchid Society Bul. 46:923-928.

Poole, H. A. y Sheehan, T. J. 1982. Mineral nutrition of orchids. *In*: J. Arditti Orchid Biology: Reviews and Perspectives. Vol. II. Cornell University Press, Ithaca, New York. 195-212 p.

Ramírez, J. 1996. Orquídeas de México. Biodiversitas 5(2):1-5.

Rasmunssen, N.H. 1995. Terrestrial orchids from seed to mycotrophic plant. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 506 p.

Rasmunsssen, N. H. and Whigham D.F. 2002. Phenology of roots and mycorrhiza in orchid species differing in phototropic strategy. New Phytologist 154: 797-807.

Rivas, M. Warner, J. Bermúdez, M. 1998. Presence of mycorrhizas in orchids of a neotropical botanical garden. Biología Tropical 46(2): 211-216.

Rosales, S. 1998. Evaluación de la etapa de enraizamiento *in vitro*, en diferentes condiciones de luz, carbón activado, ácido indolbutírico y sacarosa en *Enyclia cochleata*. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México. 47 p.

Salinger, J. S. 1991. *Cymbidium*. Producción comercial de flores, Acribia, España. 245-259 p.

Sessler, J. G. 1978. Orchids and how to grow them. 1st ed. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, NJ. USA. 370 p.

Sheehan, T. J. 1961. Effect of nutrition and potting media on growth and flowering of certain epiphytic orchids. Res. And Technol. Session, Proc. 3rd World Orchid Conf. p. 211-218.

Shefferson, R. P., D. L. Taylor, M. Weiss, S. Garnica, M. K. McCormick, S. Adams, H. M. Gray, J. W. McFarland, T. Kull, K. Tali, T. Yukawa, T. Kawahara, K. Miyoshi, and Y. I. Lee. 2007. The evolutionary history of mycorrhizal specificity among lady's slipper orchids. *Evolution* 61: 1380–1390.

Smith, F. W. 1988. Interpretation of plant analysis. Concepts and principles. *In*: Plant analysis. Reuter D. J. and Robinson, J. B. (Eds). An interpretation manual. Inkata Press. Melbourne, Sydney, Australia. 1-12 p.

Suarez J. P, Weiss M., Abele A, Garnica S, Oberwinkler F. and Kottke I. 2006. Diverse tulasnelloid fungi form mycorrhizas with epiphytic orchids in an Andean cloud forest. *Mycological Research* 110:1257–1270

Suárez, J. P. Weiss, M. Abele, A. Oberwinkler, F. Kottke, I. 2008. Members of Sebacinales subgroup B form mycorrhizae with epiphytic orchids in a neotropical mountain rain forest. *Mycological Progress* 7(2):75-85.

Taylor D. L., Bruns T. D. 1997. Independent, specialized invasions of ectomycorrhizal mutualism by two nonphotosynthetic orchids. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 94:4510–4515.

Tyson, N. R. 1995. Home orchid growing. 4ta. ed. Prentice Hall Press. New York NY, USA 376 p.

Valdez-Aguilar, L. A. y Hernández-Olaya, A. M. 2005. Anturio. Cultivo y fisiología. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. p. 102.

VanZile, J. 2013. *Paphiopedilum* Orchids — Growing Slipper Orchids. <http://houseplants.about.com/od/orchids/p/Paphiopedilum-Orchids-Growing-Slipper-Orchids.htm>

Velázquez, V. R. 2001. Nutrición foliar en plantas de *Cattleya aurantiaca* Batem. Ex. Lindl. y *Laelia speciosa* (H.B.K) Schltr., bajo condiciones de invernadero. Tesis de maestro en ciencias. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 97 p.

Wang, Y. T. and Gregg, L.L. 1994. Medium and fertilizer affect the performance of *Phalaenopsis* orchids during two flowering cycles. HortScience 29:269-271.

Wang, Y. T. 1996. Effect of six fertilizers on vegetative growth and flowering of *Phalaenopsis* orchid. Scientia Horticulturae 65:191-197.

CAPÍTULO II

EVALUACIÓN DE SUSTRATO PARA EL DESARROLLO DE *Paphiopedilum insigne* Y *Laelia autumnalis* BAJO CONDICIONES HIDROPÓNICAS

RESUMEN

En el cultivo de orquídeas se recomienda una amplia diversidad de sustratos, sin embargo, el mejor depende de la especie. Fuera de su hábitat natural, para la producción eficiente de orquídeas se deben ofrecer condiciones similares a las de la naturaleza. El sustrato debe presentar un adecuado drenaje, aireación, humedad y alta estabilidad biológica sin llegar a una rápida descomposición. Las propiedades físicas, químicas y biológicas de los sustratos en general, son factores que determinaran el buen desarrollo de las plantas. El objetivo de este estudio fue caracterizar y evaluar una mezcla de sustratos para el desarrollo de las orquídeas *Laelia autumnalis* y *Paphiopedilum insigne* en condiciones hidropónicas. El experimento consistió de la combinación de cuatro sustratos: carbón, tezontle, corteza y turba-vermiculita, con dos especies de orquídeas y tres soluciones nutritivas: Wynd, Hoagland-Arnon y Steiner y un testigo (agua de pozo). El experimento se realizó de septiembre de 2009 a diciembre de 2011, en invernadero. Se encontró que las soluciones nutritivas afectaron las propiedades físicas y químicas del sustrato. Sin embargo, de las tres soluciones nutritivas y el control, la solución Hoagland-Anon ocasionó menos cambios en las propiedades físicas y químicas del sustrato durante un periodo de dos años y tres meses, por lo cual es una buena alternativa para el desarrollo de estas dos especies de orquídeas.

Palabras clave: sustrato, propiedades físicas, propiedades químicas, *Laelia autumnalis*, *Paphiopedilum insigne*, producción de epifitas.

INTRODUCCIÓN

En el cultivo de plantas en maceta, el sustrato tiene una gran influencia en la calidad del producto final, sobre todo porque actúa como soporte en el sistema radical de las plantas. Por lo tanto, el sustrato debe presentar características adecuadas para un óptimo desarrollo, como buen suministro de agua y aire, capacidad de retención de nutrientes y pH, esto es con el fin de proporcionar condiciones adecuadas para el crecimiento y floración de las plantas (Marinho *et al.*, 2008).

Las orquídeas epífitas no se alimentan del huésped por lo tanto no son plantas parásitas, sólo lo utilizan para fijarse con sus raíces que quedan expuestas y de esta manera absorben el agua de la lluvia, el rocío y la humedad relativa de la noche, mientras que los nutrientes se derivan de la descomposición de materia orgánica depositada en el tronco. Debido a esto el sustrato debe tener una textura ideal y drenaje, ya que si no lo tienen estas mueren por la falta o exceso de agua; asimismo, la nutrición también debe ser equilibrada, de modo que no exista una afectación en el desarrollo y crecimiento (Demattê y Demattê, 1996; Faria *et al.*, 2001; Marinho *et al.*, 2008).

Wang (1994) probó en un híbrido de *Phalaenopsis* diferentes sustratos y tres niveles de fertilización (0.25, 0.5 y 1.0 g L⁻¹) del fertilizante soluble 20-8.6-16.6 de N-P-K; encontrando que en la primera floración, las plantas desarrolladas en 1

perlita: 1 Metro Mix 250: 1 carbón vegetal, tenían menos flores pero de mayor tamaño y tallos más gruesos, que los desarrollados en 1 perlita: 1 lana de roca. Dos medios (sustratos), 3 perlita: Metro Mix 250: 1 carbón vegetal y 1 perlita: 1 lana de roca, el sistema radical que desarrolló fue menor al de los otros medios. Para la segunda época de floración, la fertilización promovió la emergencia de la inflorescencia, flor, diámetro de tallo, total de hojas y tamaño, independientemente del sustrato.

Por su parte, Damattê y Damattê (1996) probaron durante tres años diferentes sustratos para el cultivo de plantas epifitas, helechos y helechos arborescentes, y reportaron que la fibra de coco mostró una gran capacidad de adsorción de agua, concluyendo que el sustrato más recomendable para evitar el uso de helechos arborescentes es fibra de coco puro o mezclado con carbón vegetal o corteza de *Eucalyptus grandis*, donde la menos recomendable es *E. grandis* mezclada con carbón vegetal.

En otra investigación dos especies de orquídeas nativas brasileñas *Oncidium baueri* y *Maxillaria picta*, fueron cultivadas en diferentes mezclas de sustratos con aplicaciones cada treinta días de fertilizante foliar 10-10-10 de N-P-K; a los 90 días se aplicaron fertilizantes orgánicos de harinas de haba y hueso. El mejor sustrato para *O. baueri* fue vermiculita y para *M. picta* fue vermiculita, carbón y la mezcla vermiculita + cascarilla o paja de arroz carbonizado (Faria *et al.*, 2001).

Con base en lo anterior, se observa que las orquídeas muestran diferente comportamiento en función del sustrato donde se desarrollan; asimismo existe

escasa información sobre los cambios que sufren los sustratos en sus propiedades con el paso tiempo. Por tal motivo la presente investigación tuvo como objetivo caracterizar y evaluar una mezcla de sustratos para el desarrollo de las orquídeas *Laelia autumnalis* y *Paphiopedilum insigne* en condiciones hidropónicas, así como evaluar los cambios en las propiedades físicas y químicas del sustrato durante su desarrollo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Física de Suelos y el Laboratorio de Nutrición Vegetal Dr. Salvador Alcalde Blanco del Programa de Edafología, Campus Montecillo, Edo. México.

Sustrato. Para la elección del sustrato se realizaron varias mezclas, esto con el fin de obtener propiedades físicas adecuadas para el desarrollo de plantas epifitas Cabrera (1999), así como una lenta descomposición de este (Cuadro 1).

Cuadro 1. Propiedades físicas de sustratos y mezclas realizadas para el desarrollo de orquídeas epifitas.

Número	Sustrato/Mezcla	Porosidad total	Porosidad de aireación (%)	Capacidad de retención de agua
1	C*	63	57	6
2	Ch*	58	47	11
3	T*	62	52	10
4	Cz*	61	52	9
5	C50 + T50 (1:1)	66	53	13
6	C50 + Cz50 (1:1)	68	56	12
7	T50 + Cz50 (1:1)	66	55	10
8	C60+T20+Cz20 (3:1:1)	67	54	13
9	C20+T60+Cz20 (1:3:1)	64	53	10
10	C20+T20+Cz60 (1:1:3)	65	54	11
11	C40+T40+Cz20 (2:2:1)	64	52	12
12	C40+T20+Cz40 (2:1:2)	65	53	12
13	C20+T40+Cz40 (1:2:2)	54	42	13
14	C33+T33+Cz33 (1:1:1)	67	53	14
15	C1+T1+Cz0+Pm-v*1	74	33	40
16	C3+T1+Cz1+Pm-v1	72	44	28
17	C2+T2+Cz1+Pm-v1	66	36	29
18 ^z	C1+T2+Cz2+Pm-v1	64	38	26
19	C1+T1+Cz1+Pm-v1	69	39	30

*C: carbón; Ch: carbón hidratado; T: tezontle; Cz: corteza; Pm-v: mezcla turba-vermiculita.

^z Mezcla seleccionada para el desarrollo de las orquídeas.

De los sustratos y mezclas de sustratos se seleccionó el que contenía carbón vegetal + tezontle + corteza de pino + turba-vermiculita, en una relación de 1:2:2:1, con las características físicas de 64% de porosidad total, 26% de retención de

agua y 38% de capacidad de aireación y con un tamaño de partícula de 0.5 a 2 cm.

En este sustrato se desarrollaron dos orquídeas: *Laelia autumnalis*, las cuales se obtuvieron en las zonas de bosque de Uruapan, Michoacán, y *Paphiopedilum insigne* adquiridas con un proveedor comercial de la misma ciudad. Las plantas se trasplantaron (una planta por recipiente) en macetas oscuras de plástico de 6 pulgadas de diámetro (15.24 cm), se irrigaron con tres soluciones nutritivas Hoagland-Arnon (1938), Steiner (1984), Wynd (1933) tomadas de Hewitt (1966) y un testigo con agua de pozo, utilizando sales comerciales y un control con agua de pozo a la cual se le realizó un análisis químico para ajustar la concentración de los elementos de la solución nutritiva, además de ajustar el pH entre 5.5 y 6.0. El experimento se realizó bajo condiciones controladas las cuales se mencionaron en el capítulo posterior.

Variables evaluadas. Las variables evaluadas fueron propiedades físicas del sustrato al inicio y final del experimento: porosidad total, porosidad de aireación, capacidad de retención de agua, densidad aparente. Asimismo, se evaluaron las propiedades químicas al final del experimento: pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica (MO), nitrógeno total (Nt), P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn, Cl y Na.

Diseño y análisis estadístico. El diseño de tratamientos consistió de un factorial 2 x 4, producto de la combinación de las 2 especies de orquídeas *Laelia autumnalis* y *Phaphiopedilum insigne* con 8 y 16 repeticiones, con 3 soluciones nutritivas (Hoagland-Arnon (1938), Steiner (1984), Wynd (1933) y un testigo; lo que generó 8 tratamientos.

El diseño experimental fue un completamente al azar. La unidad experimental fue una planta. Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza y una comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$). Para el análisis de los datos se utilizó el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9 (SAS, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En general, se encontraron diferencias significativas en las propiedades físicas y químicas en el sustrato al ser irrigado con diferentes soluciones nutritivas y desarrollando las orquídeas *Laelia autumnalis* (Figura 1-A, B, C, D) y *Paphiopedilum insigne* (Figura 1-E, F, G, H) después de ser irrigado por dos años tres meses.

El sustrato en donde se desarrolló la orquídea *P. insigne* presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en todas las variables evaluadas. En las propiedades físicas la solución Hoagland-Arnon incrementó el porcentaje de porosidad total y porosidad de aireación con respecto al testigo en un 10 y 26%. La capacidad de

retención de agua fue incrementando 4% por la solución Wynd, mientras que la densidad aparente fue aumentada por la solución nutritiva Steiner en un 18% respecto al testigo (Cuadro 2). Los resultados reportados son en general ligeramente superiores a los niveles óptimos para las propiedades físicas de los sustratos de cultivo informados por Ansorena (1994).

Con respecto a las propiedades químicas, se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, para las variables pH, CIC y CE. En las plantas de *P. insigne*, la CE, por efecto de irrigación con la solución Steiner aumentó 3% y la MO con la solución Wynd 2% respecto al testigo (Cuadro 2). Las tres soluciones nutritivas fueron estadísticamente iguales, aunque diferentes con el testigo, sin embargo, la solución Steiner fue la que presentó una mayor concentración de sales de las tres soluciones utilizadas, las cuales pudieron ser retenidas por el sustrato o las plantas absorbieron menos nutrimentos. De acuerdo con Wang (2002), los valores de pH y CE (valores) son considerados altos, sin embargo, esto aparentemente no tuvo efectos negativos en el crecimiento o desarrollo de las plantas. Los valores encontrados probablemente debieron su incremento a la gran cantidad de bicarbonatos que de manera natural contiene el agua de pozo y la cual se utilizó para la preparación de las soluciones nutritivas.

En general, el sustrato o mezcla de sustrato que se utilizó presentó cierta disgregación física con el paso del tiempo, así como cambios en su estabilidad frente a la alteración producida en él por la solución nutritiva. De igual forma,

ocurrieron cambios en las propiedades químicas derivados de la actividad en el sustrato causado por la solución nutritiva. Sin embargo, la planta también ocasionó cambios en el sustrato debido al crecimiento de ésta y la actividad microbiana, y los periodos de calentamiento en primavera y verano, que dieron lugar a riegos más frecuentes aumentando dicha actividad (Luque y Pérez, 1976; Wang y Konow 2002).

Los macronutrientes también fueron afectados por las soluciones nutritivas y fueron más altos en plantas fertirrigadas con Wynd y Steiner; P aumentó 295, Ca 152, Mg 79 y S 409% con la solución Wynd, la solución Steiner incrementó el N en 50, K 222 y Ca 152% con respecto al testigo (Cuadro 2); no obstante estas concentraciones de macronutrientes encontrados en el sustrato se consideran bajos de acuerdo con Wang (2002). En los macronutrientes, la retención de iones es causada por diferentes factores; a medida que se va utilizando un sustrato se acumula MO, resultante de los restos de raíces; los efectos de esta acumulación se manifiestan sobre la solución nutritiva con la formación de complejos órgano-minerales insolubles con los iones de Fe, Al y fosfatos, principalmente, que pueden causar estados deficitarios a las plantas; posteriormente, al disociarse estos complejos por descomposición de la MO, los iones vuelven a quedar en libertad, pudiendo producir efectos tóxicos. La concentración de Ca en el sustrato afectará directamente a la concentración de fosfatos en la solución nutritiva, ya que se puede producir una precipitación en forma de fosfato cálcico insoluble, que evoluciona a la formación de un fosfato tricálcico que se sitúa alrededor de las partículas (Landis, 2000).

Las concentraciones de micronutrientes no presentaron tendencia respecto a las soluciones nutritivas. El Fe y el Mn resultaron mayores en el testigo, y el Zn y Cu fueron incrementados por la solución Hoagland-Arnon con 69 y 267%, mientras que el Cl se incrementó 39% al utilizar la solución Steiner. El Na con la solución Wynd aumentó 427% con respecto al testigo (Cuadro 2).

Todos los materiales usados como sustratos en hidroponía presentan alguna retención de iones. En los micronutrientes el problema es menos acentuado. Aunque Na^+ y Cl son tóxicos para las plantas, el Na^+ ion tiene un serio efecto en la estructura del sustrato; sin embargo, las concentraciones encontradas fueron bajas, pero el Fe y Mn presentan concentraciones altas de acuerdo con reportes de Wang (2002), y en un futuro puede ocasionar problemas en el desarrollo de la planta.

En el caso del sustrato donde se desarrolló la orquídea *Laelia autumnalis*, la tendencia fue diferente a *Paphiopedilum insigne*. Las propiedades físicas y químicas tuvieron incrementos significativos al irrigar el sustrato con agua de pozo, provocando incrementos en porosidad total, porcentaje de aireación, densidad aparente, pH, CE, CIC, MO, micronutrientes como Fe, Mn, Zn y Cl. El pH y la CE presentaron la misma tendencia en aumento, por lo que pudieron ocasionar el bloqueo de algunos nutrientes para las plantas, así como la formación de carbonatos de calcio y magnesio (Steiner, 1984). Ambos efectos son atribuidos a la falta de lavado de sales del sustrato como se recomienda, eso con el fin de

evitar la salinización y reducción en el rendimiento de la planta (Goykovic y Saavedra, 2007).

La solución Wynd incrementó la capacidad de retención de agua en 8%, así como Mg y S en un 167 y 274% respectivamente, en comparación al testigo. La solución Steiner incrementó la concentración de N y K en un 50 y 158%, sin embargo, el N también fue afectado por la solución de Hoagland-Arnon aumentando 50%, y de igual forma ocurrió con P con un 167 y 34% de Ca con respecto al testigo (Cuadro 3).

Interacción soluciones nutritivas* especie. Las propiedades físicas del sustrato se modificaron en función de la especie y la solución nutritiva adicionada. El sustrato al desarrollar la orquídea *P. insigne* e irrigando con las soluciones tuvo un mayor incremento en porosidad total y porosidad de aireación con la solución Hoagland-Arnon respecto a la orquídea *L. autumnalis*, caso contrario con la densidad aparente, ya que *P. insigne* tuvo un valor más alto que *L. autumnalis* al utilizar la solución Steiner (Figura 2-A, B, D). En la capacidad de retención de agua, la interacción se debe a que *P. insigne* mostró un valor más alto que *L. autumnalis* (Figura 2-C). Esto probablemente debido a la degradación del sustrato y en consecuencia el incremento de la MO.

Las propiedades químicas del sustrato también se modificaron en función de la especie y de las soluciones nutritivas, pH del sustrato ya que *L. autumnalis* tuvo un valor más alto que en *P. insigne*. La CE fue similar entre los tratamientos excepto

en *P. insigne* irrigadas con agua de pozo, que registró un valor menor al testigo, el cual se incrementó, siendo nuevamente *L. autumnalis* la que obtuvo un valor superior. La CIC mostró un efecto contrario y se incrementó 37% en *P. insigne* con respecto a *L. autumnalis*, ambas irrigados con agua de pozo (Figura 3-E, F, G, H).

Los macronutrientes muestran que la interacción fue significativa, con respecto al testigo. Entre soluciones fueron estadísticamente iguales, sin embargo, en *Paphiopedilum insigne* mostró un mayor incremento que *L. autumnalis*, este comportamiento fue mayor al utilizar la solución Steiner, lo mismo ocurrió con el K (Figura 4-I, K). En el caso de P y Ca fue la solución Wynd la que permitió un mayor incremento en *P. insigne* (Figura 4-J, L), teniendo el mismo efecto con Mg y S pero el comportamiento en las especies es lo contrario, pues fue *L. autumnalis* la que mostró un mayor incremento de estos nutrientes (Figura 4-M, N).

Altas concentraciones de Ca, Mg y B son perjudiciales para el crecimiento de plantas y con el fin de evitar la toxicidad, los componentes de sustratos para cultivos de orquídeas epifitas deben tener concentraciones relativamente bajas de nutrientes, ya que algunas especies de orquídeas muestran una alta absorción de estos nutrientes, como es el caso de *D. nobile* (Damatté y Graziano 2000).

En los micronutrientes, nuevamente la interacción fue significativa, esto se debió a que el testigo presentó elevadas concentraciones de Fe, Mn, Zn y Cl (Figura 5-Ñ, O, P, R). Para Cu y Na la solución Hoagland-Arnon fue la que permitió un

mayor incremento de estos microelementos en *P. insigne* que en *L. autumnalis* (Figura 5-Q, S).

Cuadro 2. Análisis de varianza y comparación de medias del sustrato utilizado para el desarrollo de *Paphiopedilum insigne*.

Variable	Pr ≤ F	Solución Nutritiva											
		Agua			Wynd			Hoagland-Arnon			Steiner		
Media	DS ¹	CV ²	Media	DS ¹	CV ²	Media	DS ¹	CV ²	Media	DS ¹	CV ²		
<u>Propiedades Físicas</u>													
Porosidad total (%)	0.0005	67.00 ^{3b}	1.29	0.02	67.93b	1.62	0.02	73.41a	2.99	0.04	63.45b	2.65	0.04
Porosidad de aireación (%)	0.0223	36.98b	3.72	0.10	40.49ab	1.82	0.04	46.54a	5.87	0.13	39.89ab	2.19	0.05
Capacidad de retención de agua (%)	0.0135	28.89a	2.38	0.08	29.92a	1.86	0.06	28.38ab	0.77	0.03	24.36b	1.46	0.06
Densidad aparente (g/cm ³)	0.0184	0.40b	0.02	0.04	0.43ab	0.02	0.04	0.46ab	0.05	0.11	0.47a	0.03	0.06
<u>Propiedades Químicas</u>													
pH	0.0001	6.90a	0.00	0	6.02bc	0.17	0.03	6.48b	0.26	0.04	6.45b	0.19	0.03
CE(dS/m)	0.0001	2.17b	0.05	0.02	8.64a	1.28	0.15	6.77a	1.27	0.19	8.74a	0.85	0.10
CIC	0.0195	18.37a	3.27	0.18	15.02ab	1.88	0.13	13.32b	1.25	0.09	12.64b	1.05	0.08
MO(%)	0.0287	1.48a	0.14	0.09	1.51a	0.18	0.12	1.18a	0.09	0.08	1.19a	0.14	0.12
<u>Macronutrientes (mg kg⁻¹)</u>													
Nitrógeno total (%)	0.0284	0.04b	0.01	0.16	0.05ab	0.01	0.24	0.06ab	0.01	0.20	0.06a	0.00	0.00
Fósforo	0.0001	11.60bc	3.19	0.27	45.77a	1.53	0.03	43.61a	2.33	0.05	30.54b	3.34	0.11
Potasio	0.0001	0.64b	0.05	0.08	0.94b	0.30	0.32	1.04b	0.14	0.13	2.06a	0.06	0.03
Calcio	0.0096	18.50b	2.67	0.14	28.03a	4.36	0.16	23.63ab	2.93	0.12	28.18a	2.35	0.08
Magnesio	0.0046	12.17b	0.21	0.02	21.78a	4.03	0.19	16.08ab	2.51	0.16	16.38ab	2.47	0.15
Azufre	0.0001	180.88bc	28.52	0.16	921.53a	88.06	0.10	569.83b	110.52	0.19	619.72b	108.41	0.17
<u>Micronutrientes (mg kg⁻¹)</u>													
Hierro	0.0182	502.25a	109.50	0.22	478.38ab	63.92	0.13	327.93b	75.24	0.23	356.75ab	65.44	0.18
Manganeso	0.0216	78.39a	4.60	0.06	62.60b	3.55	0.06	67.71ab	5.97	0.09	59.99b	5.15	0.09
Zinc	0.0004	6.73b	1.32	0.20	7.04b	0.42	0.06	11.37a	0.93	0.08	10.87a	2.30	0.21
Cobre	0.0034	4.08b	0.91	0.22	8.32ab	1.55	0.19	14.98a	2.23	0.15	13.50a	4.38	0.32
Cloro	0.0039	3.37b	0.33	0.10	4.06ab	0.30	0.07	4.38a	0.32	0.07	4.67a	0.38	0.08
Sodio	0.0001	0.75b	0.01	0.01	9.35a	1.09	0.12	8.35a	0.34	0.04	0.77b	0.01	0.01

¹ DS= desviación estándar

² CV= coeficiente de variación

³ Para la comparación de medias letras diferentes en una misma hilera indican medias diferentes entre soluciones nutritivas.

Cuadro 3. Análisis de varianza y comparación de medias del sustrato para el desarrollo de *Laelia autumnalis*.

Variable	Pr≤F	Solución Nutritiva											
		Media	Agua DS ¹	CV ²	Media	Wynd DS ¹	CV ²	Media	Hoagland-Arnon DS ¹	CV ²	Media	Steiner DS ¹	CV ²
<u>Propiedades Físicas</u>													
Porosidad total (%)	0.0017	73.92 ³ a	4.91	0.07	64.54b	5.34	0.08	62.49b	2.01	0.03	60.84b	0.74	0.01
Porosidad de aireación (%)	0.0053	50.28a	4.54	0.09	38.89b	6.43	0.17	40.16b	2.38	0.06	38.60b	1.54	0.04
Capacidad de retención de agua (%)	0.0559	23.63a	1.16	0.05	25.66a	3.04	0.12	22.33a	0.44	0.02	22.24a	1.19	0.05
Densidad aparente (g/cm ³)	0.0543	0.42a	0.03	0.06	0.41a	0.02	0.05	0.37a	0.02	0.04	0.40a	0.02	0.06
<u>Propiedades Químicas</u>													
pH	0.0093	6.78a	0.21	0.03	6.20b	0.41	0.07	6.20b	0.12	0.02	6.52ab	0.08	0.01
CE (dS/m)	0.0648	8.98a	0.04	0.00	8.07a	1.05	0.13	7.30a	0.87	0.12	6.73a	0.88	0.13
CIC	0.0368	13.44a	0.42	0.03	10.64ab	2.82	0.26	10.92ab	1.36	0.12	9.50b	0.29	0.03
MO (%)	0.0397	1.66a	0.28	0.17	1.61a	0.14	0.09	1.66a	0.02	0.01	1.32a	0.07	0.06
<u>Macronutrientes mg kg⁻¹</u>													
Nitrógeno total (%)	0.0012	0.04b	0.00	0.00	0.05a	0.01	0.11	0.06a	0.01	0.10	0.06a	0.01	0.09
Fósforo	0.0001	12.62bc	5.93	0.47	32.67a	1.50	0.05	33.69a	1.23	0.04	23.46b	4.86	0.21
Potasio	0.0006	0.64b	0.14	0.23	0.56b	0.41	0.73	0.75b	0.03	0.04	1.65a	0.32	0.19
Calcio	0.0069	21.33b	4.34	0.20	23.13ab	1.21	0.05	28.50a	2.08	0.07	27.00a	1.41	0.05
Magnesio	0.0006	13.83b	3.45	0.25	23.20a	1.59	0.07	16.00b	1.00	0.06	13.80b	1.79	0.13
Azufre	0.0016	257.85b	42.96	0.17	965.39a	183.55	0.19	613.49ab	264.14	0.43	474.28b	54.05	0.11
<u>Micronutrientes mg kg⁻¹</u>													
Fierro	0.0005	567.85a	71.61	0.13	380.05bc	18.32	0.05	453.66b	44.95	0.10	346.88bc	21.38	0.06
Manganeso	0.0001	72.68a	2.65	0.04	50.32bc	2.47	0.05	63.52b	2.60	0.04	57.45b	4.10	0.07
Zinc	0.0216	12.38a	4.00	0.32	9.68ab	2.62	0.27	8.78ab	1.54	0.18	6.17b	0.98	0.16
Cobre	0.0366	7.74ab	2.05	0.26	10.60ab	2.50	0.24	12.80a	5.43	0.42	6.00b	1.42	0.24
Cloro	0.0005	4.92a	0.14	0.03	3.16b	0.37	0.12	3.59b	0.41	0.11	3.85b	0.45	0.12
Sodio	0.0012	0.78b	0.02	0.03	4.22ab	3.99	0.95	6.81a	0.25	0.04	7.18a	0.31	0.04

¹ DS= desviación estándar

² CV= coeficiente de variación

³ Para la comparación de medias letras diferentes en una misma hilera indican medias diferentes entre soluciones nutritivas.

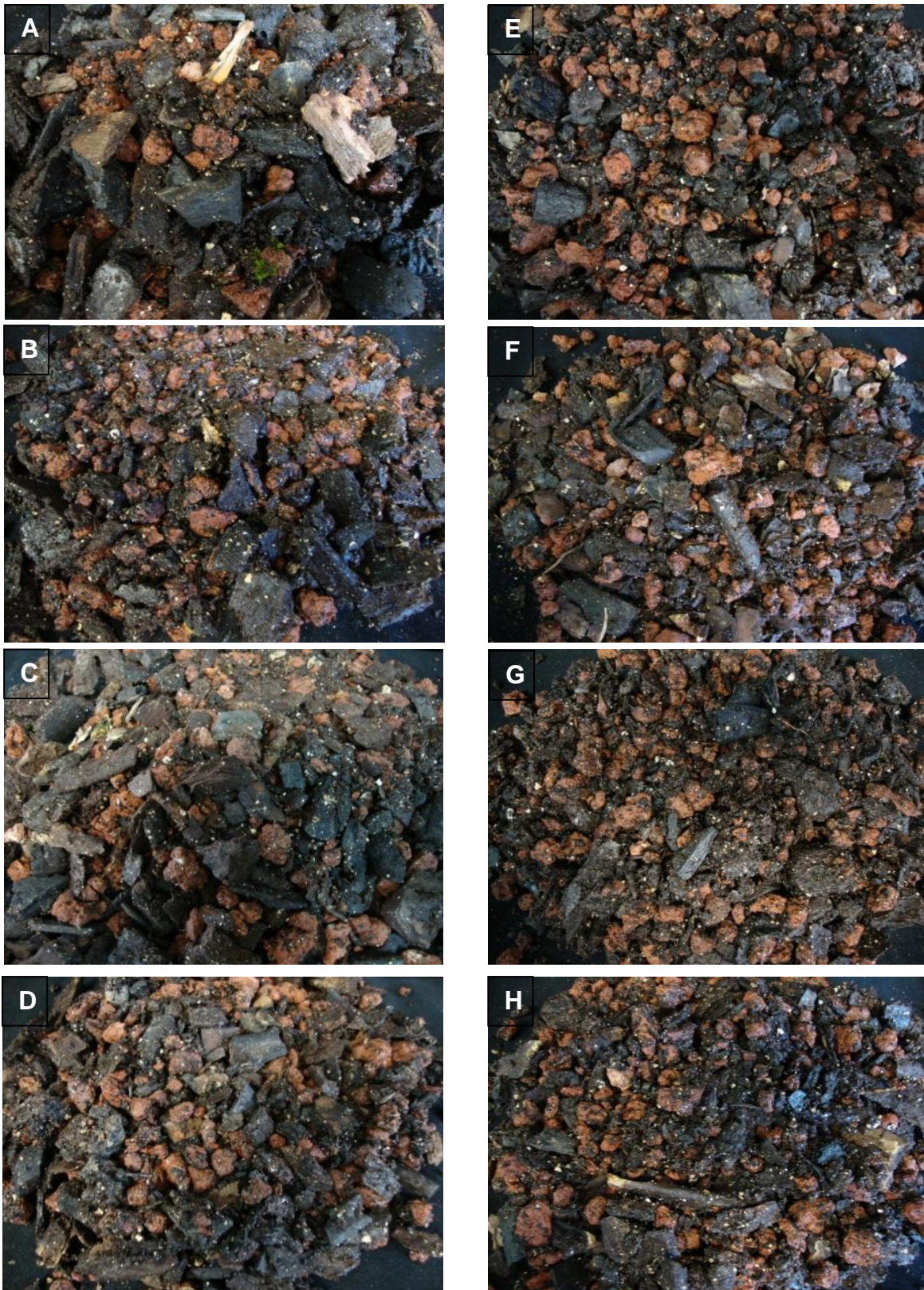


Figura 1. Respuesta del sustrato a las soluciones nutritivas. *Paphiopedilum insigne*: A) Testigo, B) Wynd, C) Hoagland-Arnon, D) Steiner; *Laelia autumnalis*: E) Testigo, F) Wynd, G) Hoagland-Arnon, H) Steiner.

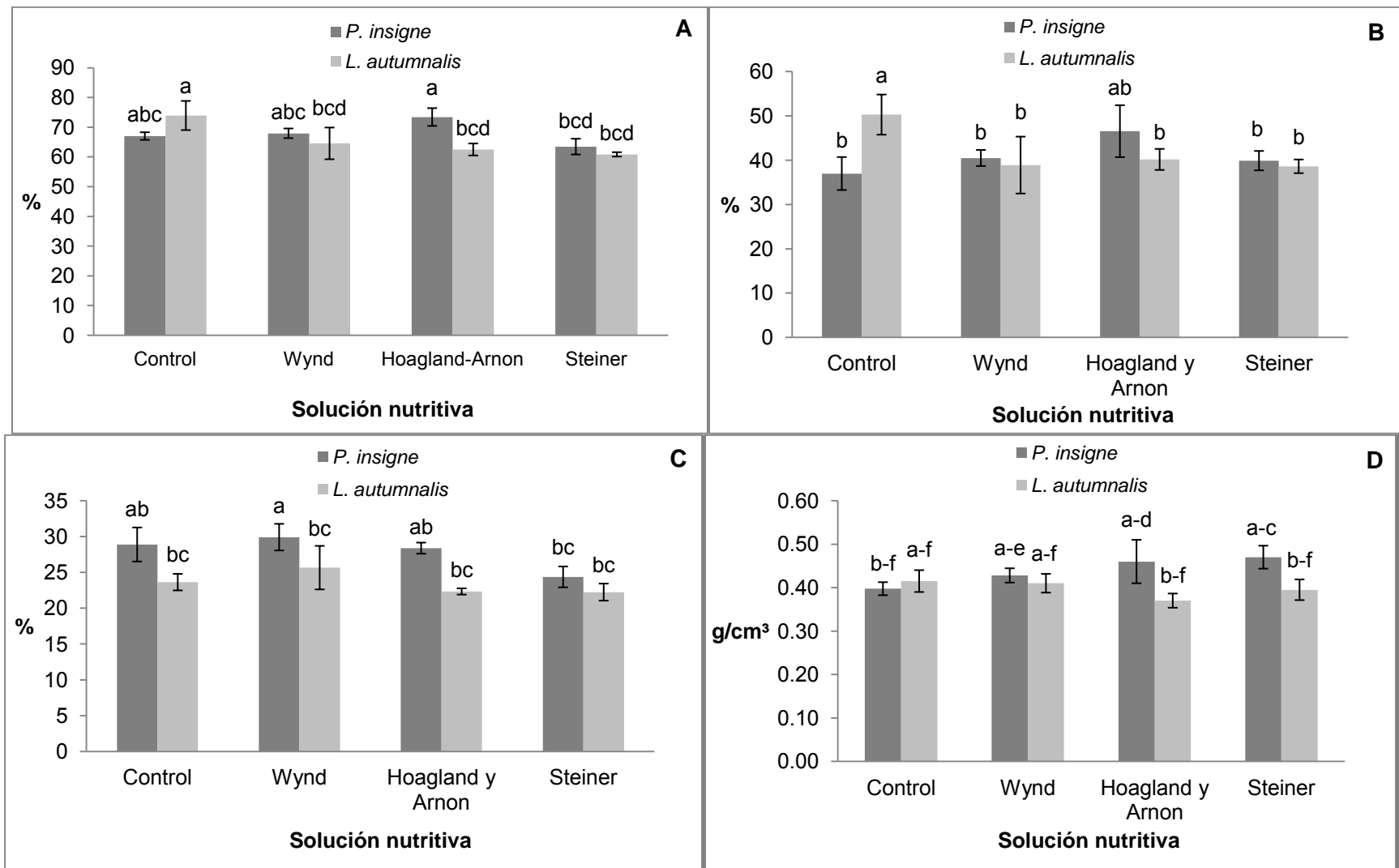


Figura 2. Respuesta del sustrato a la aplicación de soluciones nutritivas durante el cultivo de dos especies de orquídeas desarrolladas en condiciones hidropónicas. (A) Porosidad total, (B) Porosidad de aireación, (C) Capacidad de retención de agua, (D) Densidad aparente.

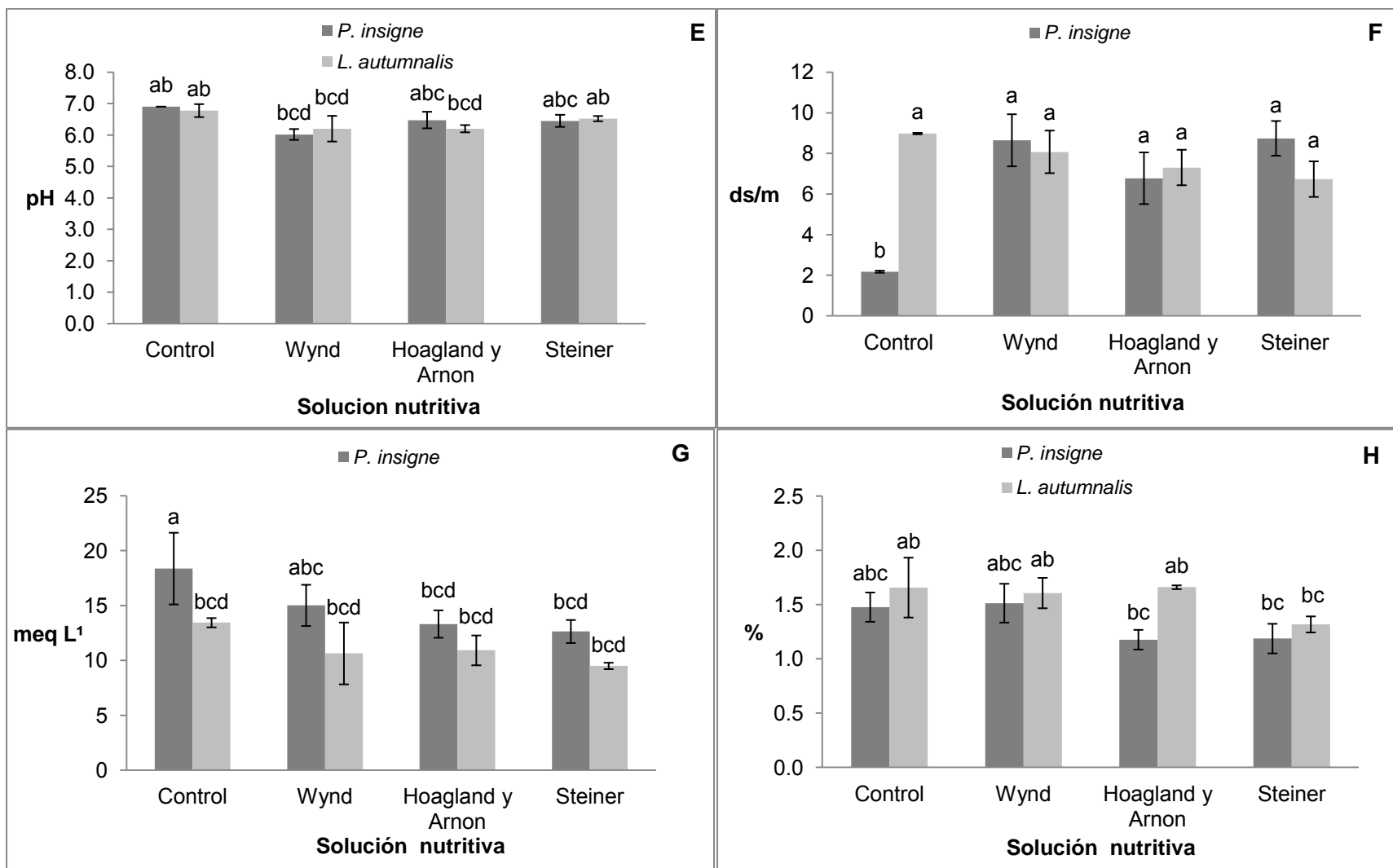


Figura 3. Propiedades físicas y químicas del sustrato como respuesta a la aplicación de soluciones nutritivas durante el cultivo hidropónico de las dos especies de orquídeas. (E) pH, (F) Conductividad eléctrica, (G) Capacidad de intercambio catiónico, (H) Materia orgánica.

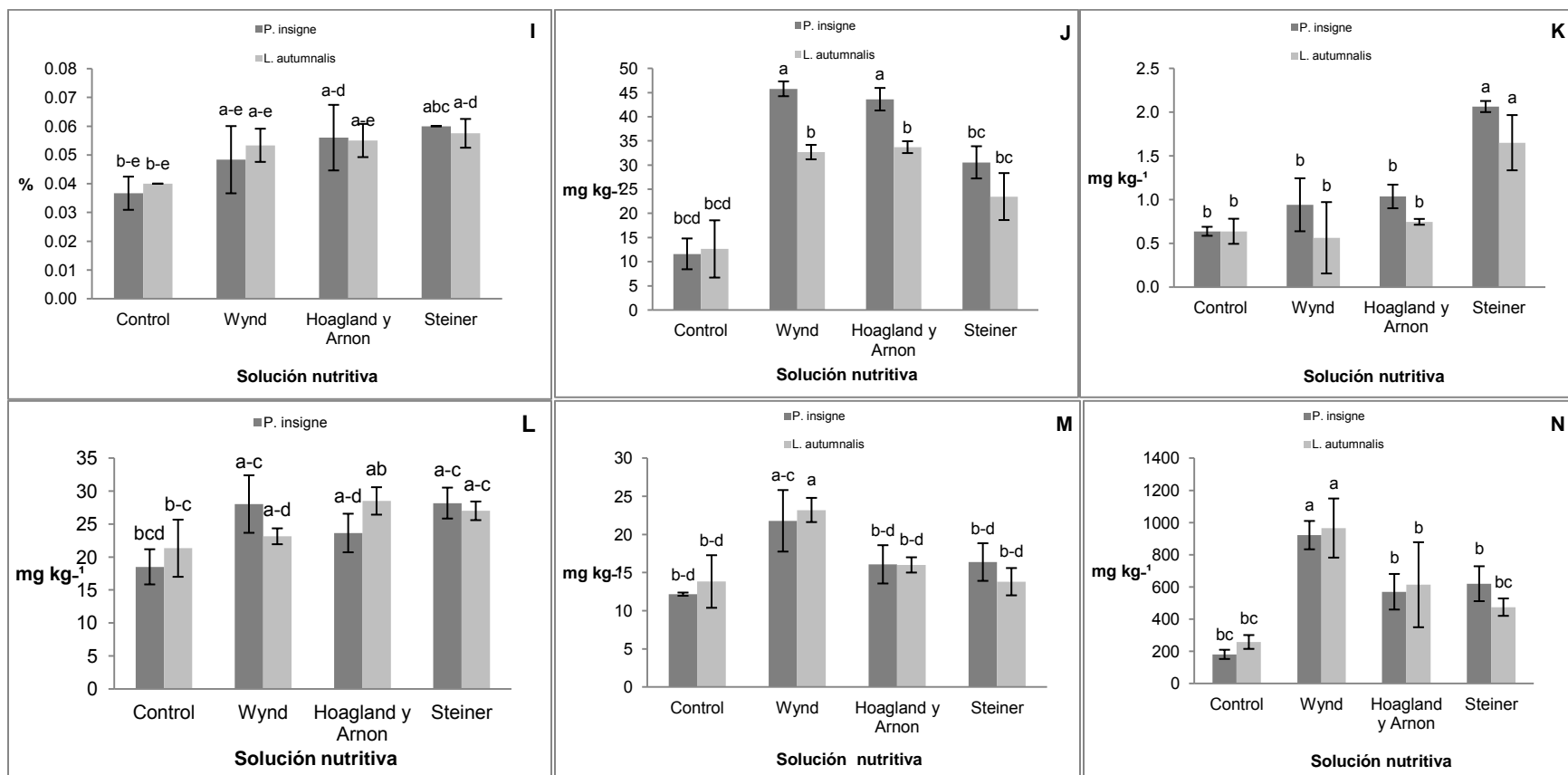


Figura 4. Concentración de micronutrientos en el sustrato como respuesta a la aplicación de soluciones nutritivas durante el cultivo hidropónico de dos especies de orquídeas. (I) Nitrógeno total, (J) Fósforo, (K) Potasio, (L) Calcio, (M) Magnesio y (N) Azufre.

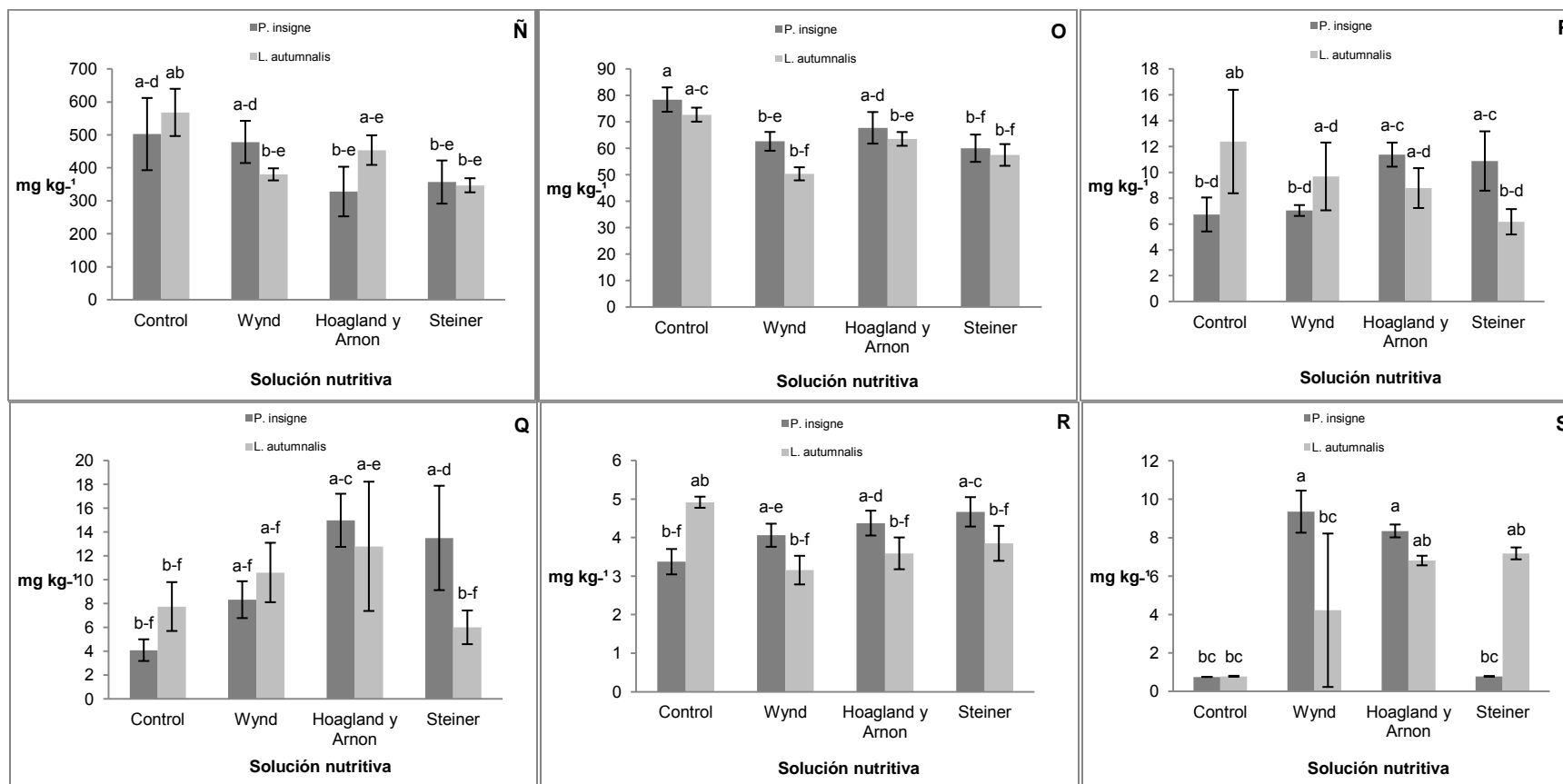


Figura 5. Concentración de micronutrientes en el sustrato como respuesta a la aplicación de soluciones nutritivas con las dos especies de orquídeas desarrolladas en condiciones hidropónicas. (Ñ) Fierro, (O) Manganeso, (P) Zinc, (Q) Cobre, (R) Cloro, (S) Sodio.

CONCLUSIONES

La mezcla de sustratos presentó una buena alternativa para el desarrollo de las orquídeas *Paphiopedilum insigne* y *Laelia autumnalis* desarrolladas en maceta y bajo condiciones hidropónicas. La solución Hoagland-Arnon ocasionó menos cambios en las propiedades físicas y químicas del sustrato durante un periodo de dos años y tres meses, por lo cual es una buena alternativa para el desarrollo de estas dos especies de orquídeas.

LITERATURA CONSULTADA

Ansorena, M. J. 1994. Sustratos propiedades y caracterización. Mundi-Prensa. España. 172 p.

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.

Cabrera, R. I. 2002. Manejo de sustratos para la producción de plantas ornamentales en maceta. Department of Horticultural Sciences Texas A&M University. 17360 Coit Road, Dallas, Texas 75252 (USA) 9 p.

Demattê, J. B. J.; Demattê, M. E. S. P. 1996. Estudos hídricos com sustratos vegetais para o cultivo de orquídeas epífitas. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 11(31): 803-813.

Demattê, M.E.S.P. and Graziano, T.T. 2000. Growth of *Dendrobium nobile* lindl. as related with nutrient concentration in the growing media. Acta Horticulturae (ISHS) 511:265-270.

Faria, R. T.; Rego, L. V.; Bernardi, H. B.; Molinari, H. B. 2001. Performance of different genotypes of Brazilian orchid cultivation in alternatives substrates. Brazilian Archives of Biology and Technology 4(44): 337-342.

Goykovic C. V y Saavedra R.G. 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. IDESIA. Chile 25(3):47-58.

Hewitt, E. J. 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. CAB. England 547 p.

Landis, T. D. 2000. Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. Volumen 4: Fertilización y Riego. Capítulo 2 Riego y Manejo del Agua. Washington, DC. US Department of Agriculture, Forest Service. 126 p.

Luque, E. A. and Pérez M. G. 1976. International working group on soilless culture. Sustratos y sus propiedades. Proceedings of the fourth international congress on soilless culture. Las Palmas, España. 303-312 p.

Marinho A. A., Faria, R. T., Keiko L. U., Abgariani L. C. 2008. Cultivo de *Oncidium baueri* Lindley (Orchidaceae) em substratos a base de coco. Ciência e Agrotecnologia 3 (32): 981-985.

SAS (1999) SAS/.STAT User's Guide: Statistics Version 8th. ed. SAS Institute, Cary, NC. USA. 956 p.

Steiner, A. A. 1984. The universal nutrition solutions. *In*: Proceeding sixth International Congress on Soilless Culture, ISOSC. Lunteren, The Netherlands. 633-650.

Wang, Y. T and Gregg, L. L.1994. Medium and fertilizer affect the performance of phalaenopsis orchids during two flowering cycles. *Hortscience* 29(4):269–271.

Wang, Y. T. and Konow E. A. 2002. Fertilizer source and medium composition affect vegetative growth and mineral nutrition of a hybrid moth orchid. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 127(3):442–447.

CAPÍTULO III

DESARROLLO VEGETATIVO POR EL USO DE SOLUCIONES NUTRITIVAS EN DOS ESPECIES DE ORQUÍDEAS

RESUMEN

Las orquídeas se desarrollan en una gran variedad de condiciones ambientales, por lo que tienen requerimientos específicos de nutrición. La nutrición de orquídeas es un aspecto importante, debido al desconocimiento de los fertilizantes y como suministrarlos eficientemente. El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto de tres soluciones nutritivas sobre el desarrollo y crecimiento de dos especies de orquídeas. El experimento se realizó de septiembre de 2009 a diciembre de 2011, en condiciones de invernadero. Se encontró que la solución Steiner con dos a tres riegos diarios de un minuto afectó el desarrollo vegetativo de *Paphiopedilum insigne*, incrementando el área foliar (105.1%), peso fresco (22.9%) y peso seco (30.7%) respecto al testigo. Para el caso de *Laelia autumnalis*, las soluciones Wynd y Steiner incrementaron el desarrollo de hojas (114.3%), pseudobulbos (133.3%), área foliar (123.6%), peso fresco y seco (111.3 y 220.8%) respecto a las plantas testigo. Los resultados demuestran que las soluciones nutritivas influyen positivamente en el desarrollo de éstas dos especies de orquídeas, y que cada especie tiene requerimientos nutrimentales específicos.

Palabras clave: *Laelia autumnalis*, *Paphiopedilum insigne*, soluciones nutritivas.

ABSTRACT

The nutrition of orchids is important because of the lack of knowledge regarding fertilizers response and how to supply them efficiently. The objective of this research was to study the effect of three nutrient solutions on the development and growth of two species of orchids. The experiment was carried out from September 2009 to December 2011 under greenhouse conditions. It was found that Steiner solution with two to three daily irrigations events affect the vegetative development of *Paphiopedilum insigne*, increasing leaf area (105%), fresh weight (22.9%) and dry weight (30.7%) compared to the control. For *Laelia autumnalis* Wynd and Steiner solutions increased the number of leaves (114.3%), pseudobulbs (133.3%), leaf area (124%), fresh and dry weight (220.8 and 111.3%) compared to control plants. The results showed that the nutrient solutions have a positive influence on the development of these two species of orchids and that each species has specific nutritional requirements.

Keywords: *Laelia autumnalis*, *Paphiopedilum insigne*, leaf area, pseudobulbs.

INTRODUCCIÓN

La floricultura desempeña un papel cada vez más importante en la economía mundial actual. Para finales de 2008, el mercado internacional de flores fue valuado en US \$ 40 mil millones (Getu, 2009). Las plantas ornamentales más cultivadas en el mundo son rosa, lili, crisantemo, clavel y orquídea. Para el caso particular de las orquídeas, las ventas totales anuales en planta y flor de corte ascienden a US \$ 173 millones, lo cual constituye cerca del 4% del comercio mundial. El 90% de flor de corte de orquídea ocurre en los países de la Asociación de Naciones del Sudeste Asiático (ASEAN); de éstos, Tailandia produce el 80% y Singapur el 12% (Tse Leow y Khye Tan, 2007).

En México, el cultivo de las orquídeas, sobre todo silvestres, apenas se está desarrollando. Sin embargo, existe una gran demanda interna y externa, por lo que a futuro su propagación en invernaderos puede convertirse en una actividad económica importante, además de que constituye una forma de conservación y rescate de especies en vías de extinción.

El género *Laelia* (Orchidaceae) consiste de 22 especies, 11 de las cuales se encuentran en México (Halbinger y Soto 1997), y crecen en bosques de roble en zonas montañosas. Las especies de *Laelia* se han cultivado tradicionalmente en los jardines caseros por sus hermosas flores. Sin embargo, las poblaciones naturales han sido fuertemente afectadas debido a la destrucción de su hábitat y extracción excesiva de las plantas (Ávila-Díaz *et al.*, 2009).

Paphiopedilum spp., conocidas como zapatilla de dama, se oferta en macetas, lo cual las hace atractivas para el mercado. Sin embargo, algunas especies se encuentran en peligro de extinción, debido a la colecta en áreas naturales y el comercio ilegal por lo que ha sido puesta en el CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres) de fauna salvaje y flora (CITES; CITES Appendices 2008; Long *et al.*, 2010).

Además del comercio ilegal y destrucción de sus hábitats, el cultivo de las orquídeas presenta problemas sobre su manejo, la nutrición es uno de los más importantes, pues existe poca información sobre el uso, época, forma y suministro eficiente de los fertilizantes, que permita acelerar el crecimiento vegetativo de las plántulas, aumentar la floración temprana y prolongar la vida de florero.

Numerosas soluciones nutritivas han sido formuladas para el crecimiento de diferentes cultivos, y la composición química puede variar ampliamente, por lo que una sola solución no puede dar resultados satisfactorios para todos los cultivos o todas las condiciones, más aún si se considera que, en general, las concentraciones externas de nutrientes requeridas para satisfacer las demandas internas de las plantas varían entre especies (Smith *et al.*, 1983). Actualmente existen pocos estudios sobre nutrición de las orquídeas pertenecientes a los géneros *Laelia* y *Paphiopedilum*, pues la mayoría se han centrado en híbridos de *Phalaenopsis* (Wang y Gregg, 1994; Wang, 1996, 1998). Por ejemplo, Wang y Konow (2002) demostraron que las orquídeas reaccionan bien a la fertilización, acelerando el crecimiento como es el caso de *Phalaenopsis*, la cual está en

función del sustrato utilizado. Wang (2007) recomienda $300 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de K bajo condiciones altas de N y P, independientemente del medio, para obtener mejor calidad en *Phalaenopsis*, con mayor longitud de hojas, y mayor número y tamaño de flores.

Por su parte, Tse Leow y Khye Tan (2007) demostraron que mediante el uso de un sistema hidropónico versátil y fertilizando con solución nutritiva (CE de 1 mS cm^{-1}), en un híbrido de *Dendrobium* para flor de corte, se obtienen mejores resultados en número de pseudobulbos, hojas y flores entre otras variables de importancia, además de evitar la pudrición de las raíces, comparado con los métodos tradicionales de siembra. Tomaz *et al.* (2010) obtuvo una mayor producción de materia seca con aplicaciones de minerales junto con fertilizantes orgánicos en *Laelia purpurata* 'werkhanserii' x *L. lobata* 'Jeni'.

Con base en lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo determinar los efectos de tres soluciones nutritivas sobre el desarrollo y crecimiento de dos especies de orquídeas *Paphiopedilum insigne* y *Laelia autumnalis*.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en un invernadero del Programa de Edafología, Campus Montecillos, Edo. México. Se utilizaron plantas de orquídeas de *Laelia autumnalis*, las cuales se colectaron en las zonas de bosque de Uruapan, Michoacán y *Paphiopedilum insigne* con un proveedor comercial de la misma ciudad.

Sustrato. Se utilizó una mezcla de carbón vegetal + tezontle + corteza de pino + turba-vermiculita en una relación de 1:2:2:1, que contenía 64% de porosidad total, 26% de retención de agua y 38% de capacidad de aireación.

Soluciones nutritivas. Las plantas de orquídeas fueron irrigadas con soluciones nutritivas de Hoagland-Arnon (1938), Steiner (1984) y Wynd (1933) tomadas de Hewitt, (1966) (Cuadro 1), utilizando sales comerciales. Las plantas testigo fueron irrigadas con agua de pozo (Cuadro 2) a la cual se le realizó un análisis químico para ajustar la concentración de los elementos de la solución nutritiva, además de ajustar el pH entre 5.5 y 6.0.

Cuadro 1. Concentración (mg L^{-1}) de las soluciones nutritivas utilizadas.

Nutrimiento	Hoagland-Arnon	Steiner	Wynd
Nitrógeno	210	167	225
Fósforo	31	31	137
Potasio	235	277	112
Calcio	160	183	169
Magnesio	49	49	25
Azufre	64	67	24-6
Hierro	5	3	
Manganeso		1.97	
Boro		0.44	
Zinc		0.11	
Cobre		0.02	
Molibdeno		0.007	

Cuadro 2. Análisis químico del agua de pozo utilizada para preparar las soluciones nutritivas.

											<u>Agosto 2009</u>										
											N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	P-H ₂ PO ₄ ⁻	S-SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺				
											mg L ⁻¹										
											0.294	0.098	0.172	0.186	1.235	1.469	2.775				
											<u>Mayo 2010</u>										
Mo ²⁻	K ⁺	Na ⁺	B	Ca ²⁺	Cu ²⁺	Fe ²⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	P-H ₂ PO ₄ ⁻	Zn ²⁻											
											mg L ⁻¹										
0.0267	3.926	39.386	0.067	27.182	0.226	0.133	30.712	0.0218	0.2038	0.055											

Manejo del experimento. Las orquídeas se trasplantaron (una planta por recipiente) en macetas oscuras de plástico de 6 pulgadas de diámetro (15.24 cm). El experimento se realizó bajo condiciones controladas, para evitar fuertes cambios de humedad (máxima 80 y mínima 34) y temperatura (máxima 28 y mínima 11 °C) dentro del invernadero, utilizando aspersion automatizada durante el día. Durante los meses más fríos (noviembre-febrero) se utilizó calefacción por la noche para mantener la temperatura por arriba de 11 °C. Para evitar excesos de radiación se utilizó malla sombra al 60%.

Variabes de estudio. El número de hojas, grosor y largo de pseudobulbo: se determinó antes de la emergencia del escapo floral. El número de escapos florales por maceta se determinó en cada uno de los períodos de floración. La longitud de tallo a la primera flor, se determinó de la emergencia del escapo floral en el pseudobulbo al primer botón floral, en los periodos de floración. La longitud de tallo a última flor, se determinó de la emergencia del escapo floral en el

pseudobulbo al último botón floral. Además se determinó el grosor de escapos florales, número de flores o botones por escapo floral.

También se evaluó al final del experimento las lecturas SPAD (en hojas nuevas y maduras, utilizando el SPAD-502 Konica Minolta, Osaka, Japón). Asimismo, se determinó el peso fresco de raíces, hojas y pseudobulbos, las cuales se secaron en una estufa con aire circulante a 70 °C. Para el área foliar se pasó cada hoja de cada maceta por el integrador de área foliar.

Diseño de tratamientos. Consistió en un factorial dos por cuatro, producto de la combinación de las dos especies de orquídeas con tres soluciones nutritivas y un testigo, lo que generó ocho tratamientos.

Diseño experimental y análisis de datos. El diseño experimental fue un completamente al azar, la unidad experimental fue una planta y los tratamientos consistieron de la combinación de dos especies: *Laelia autumnalis* con doce repeticiones y *Phaphiopedilum insigne* con dieciséis repeticiones y tres soluciones nutritivas Hoagland (1938), Steiner (1984), Wynd (1933) y agua de pozo.

Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza así también se realizó una comparación de medias ($P \leq 0.05$), utilizando el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) para windows v9 (SAS, 1999).

RESULTADOS

Desarrollo vegetativo. Durante el primer año de evaluación (2010), las plantas de *Paphiopedilum insigne* respondieron favorablemente, respecto a las plantas testigo, a la aplicación de las soluciones Wynd y Hoagland-Arnon, presentando el mayor número de hojas (6.67 y 6.20, respectivamente), mientras que para el segundo año las plantas irrigadas sólo con la solución de Hoagland-Arnon fueron las que mostraron el mayor número de hojas (14.13). Para área foliar, la irrigación de *Paphiopedilum insigne* con alguna de las tres soluciones empleadas en este estudio mostró incrementos, sin embargo, sólo la solución Steiner fue significativamente diferente ($P \leq 0.05$) respecto a las plantas testigo (Cuadro 3), con un incremento de 105% de área foliar.

En general, para el primer año de evaluación (2010), *Laelia autumnalis* alcanzó un mayor desarrollo vegetativo con la aplicación de alguna de las tres soluciones nutritivas evaluadas respecto al testigo. Sin embargo, no en todas las variables hubo diferencias significativas, incluso el testigo presentó el mayor número de escapos y pseudobulbos. El número de flores tuvo un incremento significativo de 64.47% cuando las plantas se irrigaron con la solución Wynd en comparación con las plantas testigo (Cuadro 4). En el segundo año (2011), las tres soluciones incrementaron el número de hojas y de pseudobulbos, sin embargo, el grosor y largo de pseudobulbos las plantas testigo fueron mayores. El área foliar de las plantas irrigadas con la solución Wynd alcanzó los valores más altos y significativamente diferentes (mayores) al de las plantas testigo (Cuadro 5).

Lecturas SPAD. En *Paphiopedilum insigne* se obtuvo una mayor acumulación de clorofila (lecturas SPAD) en hojas jóvenes y maduras, irrigadas con la solución de Hoagland-Arnon en diferentes partes de la hoja (Cuadro 3). Mientras que las soluciones Wynd y Steiner en hojas maduras mostraron niveles similares a la solución de Hoagland-Arnon en la punta de éstas. Caso contrario con la solución de Wynd que presentó los niveles más bajos en hojas maduras.

En *Laelia autumnalis* para las lecturas SPAD la respuesta fue totalmente diferente a *P. insigne*; las lecturas SPAD fueron mayores para los testigos y no hubo diferencias entre soluciones nutritivas, y fue la solución Hoagland-Arnon con la que se obtuvieron las lecturas más bajas (Cuadro 4).

Peso fresco y seco. Las plantas de *Paphiopedilum insigne* irrigadas con las soluciones nutritivas Hoagland-Arnon y Steiner mostraron los mayores incrementos para peso fresco y seco total. Sin embargo, para el peso fresco y seco de raíces los mayores valores se observaron en las plantas testigo, mientras que para el peso fresco y seco de hojas éstos incrementos se obtuvieron en aquellas plantas irrigadas con alguna de las tres soluciones nutritivas (Cuadro 3).

El peso fresco y seco total de *Laelia autumnalis* fue mayor en aquellas plantas irrigadas con las soluciones Steiner y Wynd respectivamente, mientras que las irrigadas con la solución Hoagland-Arnon mostraron valores bajos, y similares a los de las plantas testigo (Cuadro 4). El peso fresco total de la planta, el peso fresco de pseudobulbos y de hojas en plantas tratadas con la solución Steiner se

incrementó en un 111.3, 76.7 y 202.8%, mientras que las irrigadas con la solución Wynd tuvieron incrementos de 52.6, 13.2 y 130%, respectivamente, en comparación a las irrigadas con agua. Para el peso seco total de planta, de pseudobulbos y de hojas, no hubo diferencias significativas entre las plantas irrigadas con la solución de Hoagland-Arnon y las irrigadas con agua, sin embargo, las tratadas con la solución de Wynd tuvieron incrementos de 220.8, 162.2 y 172.3%, y las tratadas con la solución de Steiner de 81.9, 151.2 y 242.6% en las variables de peso seco total de la planta, de pseudobulbos y de hojas, en comparación a las plantas testigo.

Interacción solución nutritiva*especie. Se presentó interacción significativa entre especies para peso fresco y seco. En el caso del peso seco total y de raíz en la especie *Laelia autumnalis* con las soluciones Wynd y Steiner mostraron mayor peso que *Paphiopedilum insigne* (Figura 1A y 1B). En el peso fresco total y de raíz la interacción es debida a que *Laelia autumnalis* desarrolladas la solución Steiner tuvieron un mayor peso (Figura 1C y 1D). Las soluciones Wynd y Steiner afectaron sólo a la especie *Laelia autumnalis* con un mayor valor en peso fresco de raíz, lo contrario ocurrió con *Paphiopedilum insigne* ya que el valor fue mayor en el testigo (Figura 1D).

La solución nutritiva modificó las lecturas SPAD en función de la especie, los valores más altos de esta variable se registraron en *L. autumnalis*, y fueron estadísticamente superiores en la parte apical y media de las hojas maduras en plantas irrigadas con agua de pozo. En el caso de las hojas maduras en la base,

la solución Steiner afectó a la especie. El testigo y la solución Steiner generaron en *Laelia autumnalis* altas lecturas SPAD en las diferentes partes de las hojas maduras que en *Paphiopedilum insigne*, en contraste, *Paphiopedilum insigne* fue afectada por la solución Hoagland-Arnon, y las lecturas fueron altas (Figura 2).

La interacción fue significativa por especie en lecturas SPAD en hojas nuevas, esto es debió a que el testigo incrementó a las dos especies en diferentes partes de las hojas. La especie *Laelia autumnalis* obtuvo valores altos con el testigo y la solución Steiner en el promedio y punta de las hojas (Figura 3A y 3B); el testigo y Hoagland-Arnon en la base de la hoja y el testigo en la parte media de las hojas nuevas (Figura 3C y 3D), así también la especie *Paphiopedilum insigne* mostró valores mayores con la solución Hoagland-Arnon en diferentes partes de la hoja. No obstante, las variables hojas, área foliar, peso seco y fresco de hoja son independientes, es decir, no son afectadas por la interacción de los factores en estudio (Cuadro 6).

DISCUSIÓN

Las soluciones Wynd, Steiner y Hoagland-Arnon incrementaron el crecimiento y desarrollo de plantas de *Paphiopedilum insigne* y *Laelia autumnalis* en contraste con el testigo (Anexo I a-h). Esto tiene sentido si consideramos que el agua sólo aportó a la nutrición de las plantas los nutrientes que por su naturaleza contenía, básicamente oxígeno e hidrógeno, y pequeñas cantidades de algunos macro y microelementos (Cuadro 2), mientras que las soluciones nutritivas suministran

todos los elementos esenciales en sales fertilizantes en concentraciones y proporciones adecuadas para lograr un crecimiento y desarrollo óptimo.

En este sentido, los resultados concuerdan con lo reportado por Wang y Konow (2002), quienes observaron incrementos de 50% en peso fresco y 40% en área foliar, al utilizar 20N-2.2P-15.8K y 20N-8.6P-16.6K en una mezcla de corteza-turba en el híbrido *Phalaenopsis* Blume. Así mismo, Xiao-yan (2006) también obtuvo incrementos en área foliar y peso fresco en plantas de *Paphiopedilum callosum* desarrolladas en turba y tres diferentes musgos, fertilizadas con Osmocote durante cuatro meses, lo cual es consistente con la orquídea *Paphiopedilum insigne* en área foliar y peso fresco. En el estudio de *Paphiopedilum callosum* se realizaron lecturas SPAD, no encontrando diferencias significativas entre los distintos tratamientos e indicando que esto puede atribuirse al tipo de metabolismo que presentan las orquídeas, las cuales son plantas CAM; por otra parte el experimento se mantuvo cinco meses bajo fertilización. En contraste, en el presente estudio con *Paphiopedilum insigne* se obtuvieron diferencias significativas en lecturas SPAD, esto puede deberse al tiempo prolongado en que fueron fertilizadas y a la concentración de N que aportó cada una de las soluciones nutritivas evaluadas. La solución Hoagland-Arnon fue el mejor tratamiento; ésta solución proporcionó niveles adecuados de N para esta especie, ya que un incremento en N, como es el caso de la solución Wynd, ocasionó una disminución en las lecturas, causando el mismo efecto la solución de Steiner, la cual contenía el nivel más bajo de N de las tres soluciones nutritivas utilizadas.

En el caso de la orquídea *Laelia autumnalis* se obtuvieron mejores resultados en desarrollo vegetativo, con las soluciones Wynd y Steiner, por lo que estas soluciones proporcionaron los nutrimentos necesarios para el desarrollo vegetativo de esta especie. La solución Wynd contiene niveles altos de N y P, mientras que Steiner niveles altos en K, Ca, Mg, S y Fe, así como algunos microelementos los cuales no contenían las soluciones de Hoagland-Arnon y Wynd.

En las orquídeas epífitas, como es el caso de *Laelia autumnalis*, los órganos de almacenamiento son los tallos llamados pseudobulbos, los cuales tienen la capacidad de almacenar agua, minerales e hidratos de carbono (Ng y Hew, 2000). En la acumulación de nutrientes minerales durante el periodo de desarrollo, el pseudobulbo constituye una fuente de reserva para el posterior desarrollo de los nuevos botones florales. La absorción de nitrato es mayor durante la formación y desarrollo de nuevos pseudobulbos (Hew y Ng, 1996). La solución Wynd cubrió estas necesidades debido a que contenía la concentración más alta de N (225 mg L⁻¹) de las tres soluciones utilizadas, lo cual permitió un mayor desarrollo de la planta.

Las variables de peso fresco y seco de *Laelia autumnalis* fueron incrementadas por la solución Wynd y Steiner, en contraste con las plantas testigo. Las plantas testigo se mantuvieron activas, debido a que las orquídeas epífitas pasan por frecuentes períodos de escasez de nutrientes, por lo que son tolerantes a la baja fertilidad del medio de donde se desarrollan. Además, los pseudobulbos de las orquídeas pueden llegar a contener entre un 90-95% de agua, como previamente

se demostró en el estudio de *Oncidium goldiana* (Hew y Ng, 1996) y en algunas especies como *Cymbidium sinense* donde se ha documentado que aproximadamente un 64% de su agua es retenida después de 42 días de condiciones de estrés hídrico (Zheng *et al.*, 1992). En el caso de la solución de Steiner, el N que contenía fue bajo respecto a las soluciones Steiner y Hoagland-Arnon, lo que provocó, posiblemente, que el K se movilizara para dar soporte los requerimientos de crecimiento de nuevos tejidos en desarrollo, ya que el K que se aplicó fue mayor (227 mg L^{-1}) con esta solución.

Cuadro 3. Análisis de varianza y comparación de medias para variables vegetativas y lecturas SPAD de la orquídea

Paphiopedilum insigne.

Variable	Pr ≤ F	Solución Nutritiva											
		Agua			Wynd			Hoagland-Arnon			Steiner		
		Media	DS ¹	CV ²	Media	DS	CV	Media	DS	CV	Media	DS	CV
<u>Desarrollo vegetativo</u>													
Hojas 2010	0.0138	3.25b ³	2.42	0.74	6.67a	2.35	0.35	6.20a	3.49	0.56	5.69ab	2.50	0.44
Hojas 2011	0.0164	8.55b	4.23	0.49	8.31b	4.09	0.49	14.13a	2.42	0.17	10.11ab	5.04	0.50
Área foliar (cm ²)	0.0474	263.84b	85.31	0.32	477.42ab	77.00	0.16	483.38ab	68.05	0.14	541.11a	191.79	0.35
<u>Lecturas SPAD en hojas jóvenes</u>													
Punta	0.0045	24.18b	2.79	0.12	23.57b	4.04	0.17	29.35a	4.12	0.14	24.21b	4.87	0.20
Media	0.0178	23.16b	3.43	0.15	23.22b	2.75	0.12	28.09a	4.94	0.18	24.05ab	5.51	0.23
Base	0.0477	19.34b	1.88	0.10	21.44ab	3.12	0.15	23.18a	4.00	0.17	21.67ab	3.05	0.14
Promedio	0.0154	22.76b	2.74	0.12	23.11ab	1.98	0.09	25.74a	3.03	0.12	22.22b	2.30	0.10
<u>Lecturas SPAD en hojas maduras</u>													
Punta	0.0001	21.71b	6.34	0.29	29.56a	4.80	0.16	32.26a	4.34	0.13	32.18a	6.03	0.19
Media	0.0001	18.34bc	6.97	0.38	32.01b	4.72	0.15	40.85a	4.24	0.10	35.04ab	4.91	0.14
Base	0.0001	20.40bc	3.76	0.18	27.65ab	5.38	0.19	32.22a	4.74	0.15	25.64b	4.71	0.18
Promedio	0.0001	19.02bc	4.58	0.24	29.23b	4.17	0.14	34.16a	2.72	0.08	31.69ab	4.16	0.13
<u>Peso fresco (g)</u>													
Total	0.0272	44.93ab	9.97	0.22	31.75b	6.25	0.20	50.30ab	6.80	0.14	55.23a	11.42	0.21
Raíz	0.0001	21.53a	3.35	0.16	5.97b	2.65	0.44	8.65b	3.25	0.38	11.33b	3.11	0.27
Hoja	0.0139	22.53b	7.06	0.31	27.90b	4.50	0.16	32.40ab	6.25	0.19	43.50a	8.19	0.19
<u>Peso seco (g)</u>													
Total	0.0546	6.60ab	1.65	0.25	5.53b	0.84	0.15	7.53ab	1.25	0.17	8.63a	1.38	0.16
Raíz	0.0297	2.50a	0.73	0.29	1.20b	0.57	0.47	2.10ab	0.68	0.32	1.77ab	0.25	0.14
Hoja	0.0142	3.33b	1.42	0.43	5.35ab	1.21	0.23	5.33ab	0.97	0.18	6.87a	1.16	0.17

¹ DS = desviación estándar

² CV = coeficiente de variación

³ Para la comparación de medias letras diferentes en una misma hilera indican medias diferentes entre soluciones nutritivas.

Cuadro 4. Análisis de varianza y comparación de medias en el desarrollo vegetativo de la orquídea *Laelia autumnalis* durante el año 2010.

Variables	Pr ≤ F	Soluciones Nutritivas													
		Agua			Wynd			Hoagland-Arnon			Steiner				
		Media	DS ¹	CV ²	Media	DS	CV	Media	DS	CV	Media	DS	CV		
					<u>Número</u>										
Flores	0.0001	6.08b ³	1.20	0.20	10.00a	0.82	0.08	7.20b	1.10	0.15	5.86b	0.90	0.15		
Hojas	0.0255	2.17b	0.26	0.12	2.75ab	0.42	0.15	2.58ab	0.49	0.19	2.83a	0.26	0.09		
Escapos	0.014	1.57a	0.53	0.34	1.00b	0.00	0.00	1.00b	0.00	0.00	1.25ab	0.46	0.37		
Pseudobulbos	0.0001	2a	0.63	0.32	1b	0.00	0.00	1b	0.00	0.00	1b	0.00	0.00		
					<u>mm</u>										
Grosor de pseudobulbos	0.0001	18.72b	1.00	0.05	26.15a	2.87	0.11	24.82a	1.73	0.07	21.28b	1.49	0.07		
Largo de pseudobulbos	0.0006	7.52b	0.50	0.07	9.36a	1.29	0.14	9.73a	0.77	0.08	10.19a	0.91	0.09		
Grosor de escapo	0.0059	4.49b	0.47	0.10	5.49a	0.43	0.08	4.86ab	0.50	0.10	4.43b	0.53	0.12		
					<u>cm</u>										
Largo de escapo a primera flor	0.0001	61.04b	4.26	0.07	82.43a	2.11	0.03	65.50b	3.61	0.06	66.77b	2.98	0.04		
Largo de escapo a ultima flor	0.0281	67.49b	6.32	0.09	79.47ab	14.75	0.19	83.20a	7.63	0.09	72.38ab	5.93	0.08		

¹ DS = desviación estándar

² CV = coeficiente de variación

³ Para la comparación de medias letras diferentes en una misma hilera indican medias diferentes entre soluciones nutritivas

Cuadro 5. Análisis de varianza y comparación de medias para variables vegetativas y lecturas SPAD de la orquídea *Laelia autumnalis* en 2011.

Variables	Pr ≤ F	Solución Nutritiva											
		Agua			Wynd			Hoagland-Arnon			Steiner		
		Media	DS ¹	CV ²	Media	DS	CV	Media	DS	CV	Media	DS	CV
<u>Desarrollo vegetativo</u>													
Número de hojas	0.0013	3.00b	1.15	0.38	6.43a	0.98	0.15	5.67a	1.15	0.20	6.00a	1.00	0.17
Número de pseudobulbos	0.0134	1.50b ³	0.58	0.38	3.14a	0.38	0.12	3.40a	1.34	0.39	3.50a	1.05	0.30
Grosor de pseudobulbos (mm)	0.0005	21.00a	2.56	0.12	17.99ab	1.44	0.08	15.59b	1.18	0.08	19.36a	1.88	0.10
Largo de pseudobulbos (mm)	0.0001	91.97a	4.32	0.05	70.52bc	3.90	0.06	49.93bcd	4.57	0.09	81.68b	4.49	0.05
Área foliar (cm ²)	0.0566	122.36b	79.14	0.65	273.57a	89.83	0.33	170.81ab	30.68	0.18	221.47ab	42.30	0.19
<u>Lecturas SPAD en hojas jóvenes</u>													
Punta	0.0038	55.23a	8.45	0.15	42.14b	4.23	0.10	40.96b	3.56	0.09	47.77ab	3.93	0.08
Media	0.0001	58.00a	1.84	0.03	47.85b	3.76	0.08	47.63b	3.88	0.08	41.02bc	1.70	0.04
Base	0.0051	54.30a	4.36	0.08	42.60b	6.26	0.15	50.63ab	5.34	0.11	40.05bc	4.70	0.12
Promedio	0.0001	55.87a	1.07	0.02	42.40b	3.60	0.08	42.14b	3.28	0.08	42.00b	3.56	0.08
<u>Lecturas SPAD en hojas maduras</u>													
Punta	0.0016	77.98a	3.15	0.04	59.20b	12.29	0.21	52.93b	7.59	0.14	67.63ab	7.09	0.10
Media	0.0023	74.94a	3.42	0.05	65.00b	6.60	0.10	60.08b	5.29	0.09	68.80ab	4.94	0.07
Base	0.0001	70.40a	2.93	0.04	62.54b	6.24	0.10	57.44b	1.34	0.02	73.06a	3.54	0.05
Promedio	0.0019	75.70a	4.67	0.06	63.68b	7.52	0.12	58.28bc	5.89	0.10	69.37ab	5.99	0.09
<u>Peso fresco (g)</u>													
Total	0.0055	134.40b	14.75	0.11	205.10ab	50.99	0.25	121.75b	54.04	0.44	283.93a	49.07	0.17
Raíz*													
Pseudobulbos	0.0301	126.97ab	40.92	0.32	143.73ab	63.53	0.44	69.57b	39.63	0.57	224.23a	49.42	0.22
Hoja	0.0028	9.07b	5.35	0.59	20.87ab	6.24	0.30	11.23b	4.89	0.44	27.47a	6.54	0.24
<u>Peso seco (g)</u>													
Total	0.0125	15.93b	11.40	0.72	51.10a	13.01	0.25	15.45b	5.90	0.38	28.97ab	10.83	0.37
Raíz*													
Pseudodubos	0.0233	10.07ab	4.82	0.48	26.40a	13.10	0.50	6.33b	3.00	0.47	25.30ab	5.05	0.20
Hoja	0.0124	1.48b	1.27	0.86	4.03ab	1.79	0.44	1.57b	0.57	0.36	5.07a	1.14	0.22

¹ DS = desviación estándar

² CV = coeficiente de variación

³ Para la comparación de medias letras diferentes en una misma hilera indican medias diferentes entre soluciones nutritivas.

Cuadro 6. Resumen de análisis de varianza de las dos especies de orquídeas evaluadas durante 2 años tres meses en soluciones nutritivas.

FV	GL	Cuadrados medios		<u>Área foliar</u>	<u>Peso fresco hojas</u>	<u>Peso seco hojas</u>
		<u>Hojas</u> 2010	2011			
Especie	1	137.1 (<.0001)***	273.2 (<.0001)***	409533.4 (<.0001)***	1378.0 (<.0001)***	33.8 (0.0001)***
Solución	3	12.9 (0.0780)	29.3 (0.0887)	51444.7 (0.0033)**	411.0 (0.0002)***	16.5 (0.0001)***
Esp*Sol	3	6.6 (0.3141)	22.9 (0.1591)	12920.9 (0.2200)	63.2 (0.1998)	2.1 (0.2801)
Error	^z					
Total	^z					
CV		50.3	41.6	28.2	25.0	29.5

* Significativo con Pr = 0.05 ** Significativo con Pr=0.01; *** Significativo con Pr =0.001

^z Los datos no se presentan debido a que tienen diferente número de repeticiones.

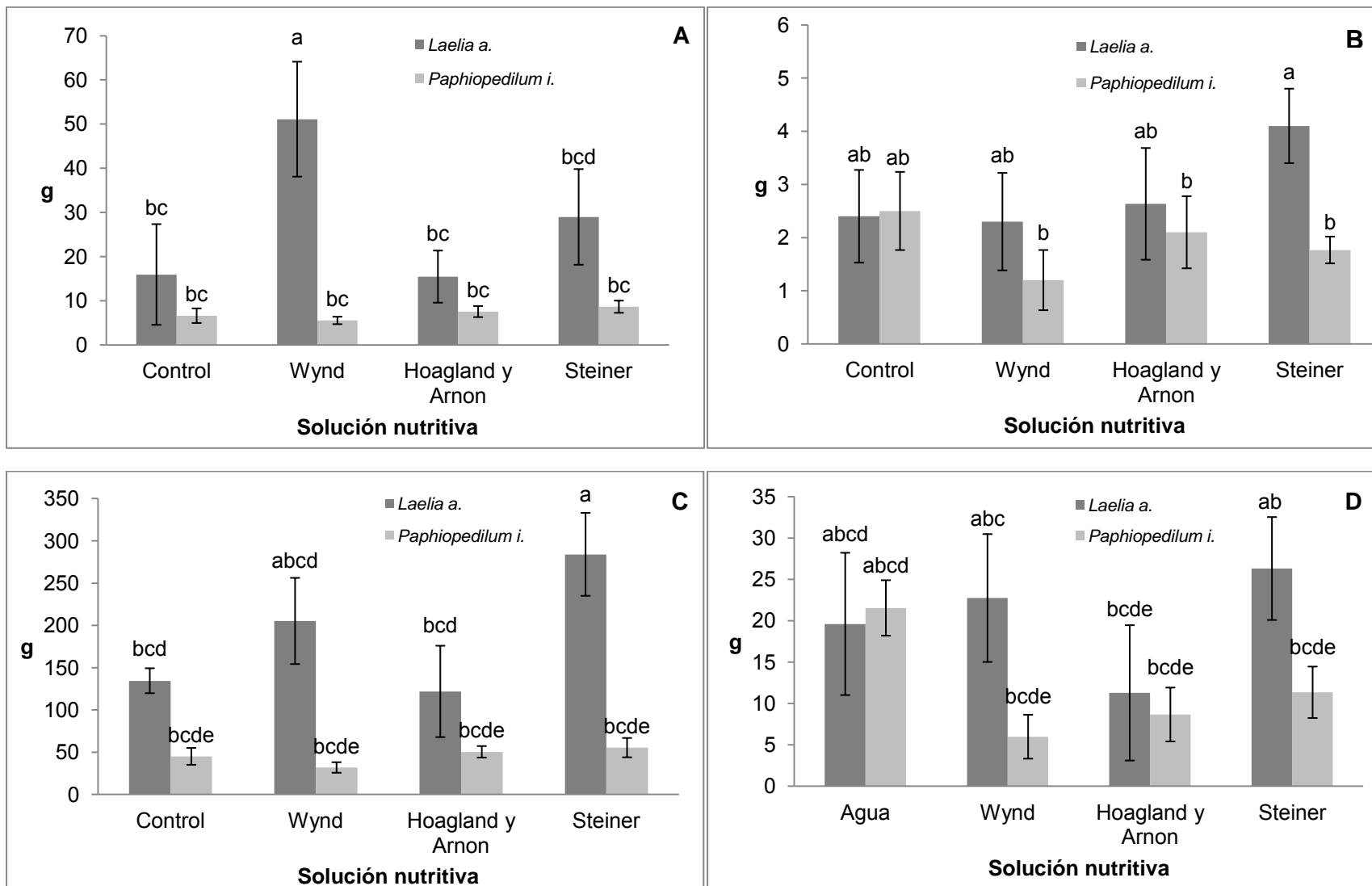


Figura 1. Respuesta las soluciones nutritivas con las dos especies de orquídeas desarrolladas en condiciones hidropónicas. (A) Peso seco total, (B) Peso seco raíz, (C) Peso fresco total, (D) Peso fresco raíz.

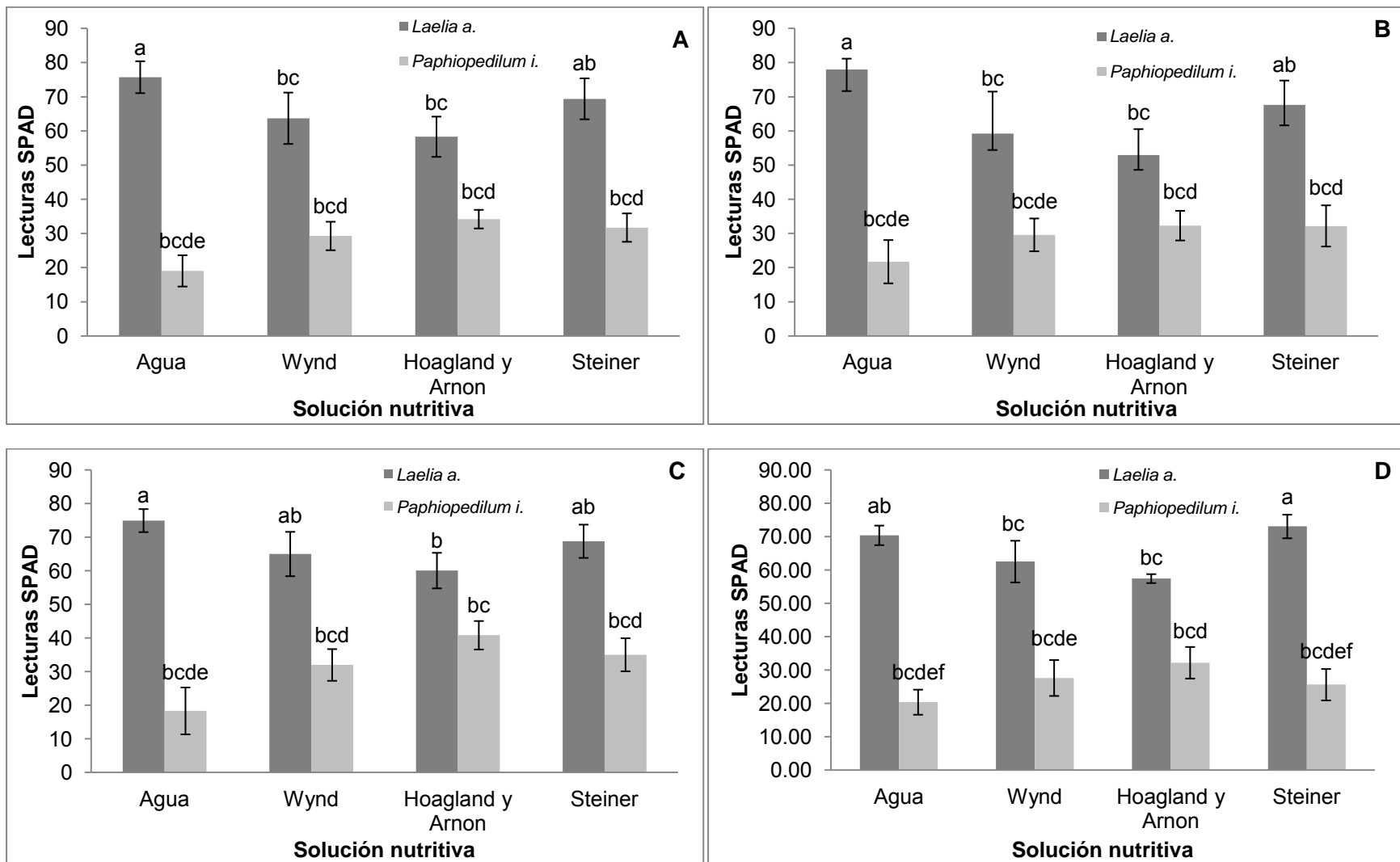


Figura 2. Respuesta a las soluciones nutritivas con las dos especies de orquídeas desarrolladas en condiciones hidropónicas. (A) Lecturas SPAD en hojas maduras promedio, (B) Lecturas SPAD en hojas maduras punta, (C) Lecturas SPAD en hojas maduras media, (D) Lecturas SPAD en hojas maduras base.

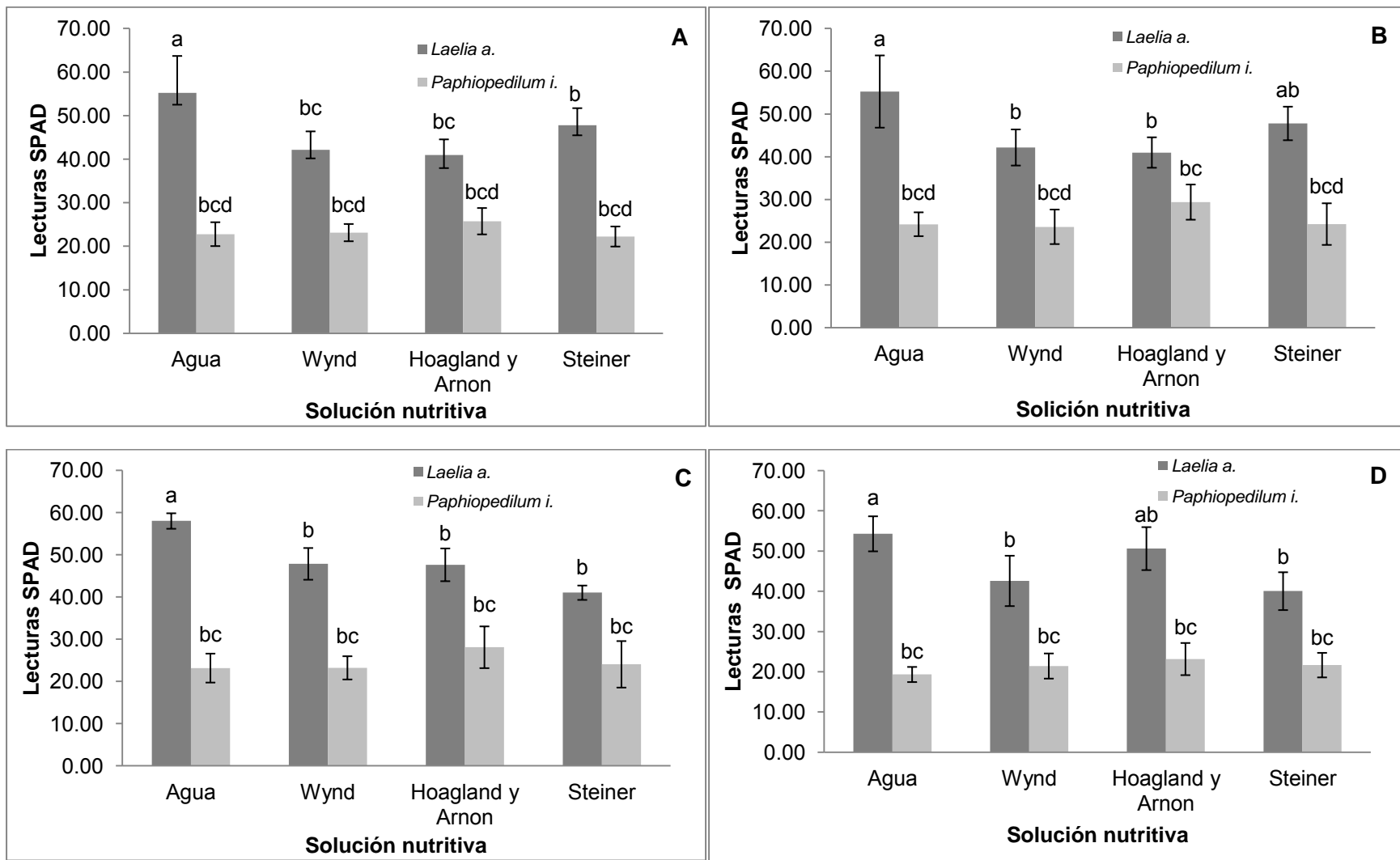


Figura 3. Respuesta a las soluciones nutritivas con las dos especies de orquídeas desarrolladas en condiciones hidropónicas. (A) Lecturas SPAD en hojas nuevas promedio, (B) Lecturas SPAD en hojas nuevas punta, (C) Lecturas SPAD en hojas nuevas media, (D) Lecturas SPAD en nuevas base.

CONCLUSIÓN

El desarrollo (floración) y crecimiento de *Paphiopedilum insigne* y *Laelia autumnalis* fue influenciado por las soluciones nutritivas. El uso de las soluciones nutritivas de Wynd, Hoagland-Arnon y Steiner en plantas de *Paphiopedilum insigne* y *Laelia autumnalis* incrementaron el desarrollo vegetativo de éstas, favoreciendo número de hojas, flores y pseudobulbos, así como su peso, lo cual aumenta la calidad comercial de estas plantas en maceta.

LITERATURA CITADA

Ávila-Díaz, I. Oyama, K., Gómez-Alonso, C. Salgado-Garciglia, R. 2009. *In vitro* propagation of the endangered orchid *Laelia speciosa*. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 99:335–343.

Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora Appendices I, II and III. 2008. Geneva, Switzerland. Available at: <http://www.cites.org/eng/app/E-Jul01.pdf>.

Chang K. H., Wu R. Y, and Hsieh T. F. 2010. Effects of fertilizer formulations on flowering of *Doritaenopsis* 'I-Hsin Madame' in gradational nutrition management. Acta Hort. 878: 347-354.

Getu, M. 2009. Ethiopia floriculture and its impact on the environment regulations, supervision and compliance. Mizan Law Review 3: 241-270.

Halbinger, F, Soto MA. 1997. Laelias of Mexico. Orquídea 15. Asociación Mexicana de Orquideología A. C, México, D.F. 160 p.

Hew C.S., Ng C.K.Y. 1996. Changes in mineral and carbohydrate content in pseudobulbs of the C3 epiphytic orchid hybrid *Oncidium goldiana* at different growth stages. *Lindleyana* 11: 125-134.

Hewitt, E. J. 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. CAB. England 547p.

Long B., Niemeira A.X, Cheng ZY, Long Cl. 2010. In vitro propagation of four threatened *Paphiopedilum* species (Orchidaceae). *Plant Cell Tiss. Organ Cult.* 101:151–162.

Ng, C.K.Y and Hew C.S. 2000. Orchid pseudobulbs - 'false' bulbs with a genuine importance in orchid growth and survival. *Scientia Hort.* 83:165-172.

SAS (1999) SAS/.STAT User's Guide: Statistics Version 8th. ed. SAS Institute, Cary, NC. USA. 956 p.

Smith, G. S., Johnston C. M. and Cornforth I. S. 1983. Comparison of nutrient solutions for growth of plants in sand culture. *New Phytol.* 94: 537-548.

Tomaz R. D., Ferreira R. N, Alvarez V. V. H., Moreira D. J. M. y De Albuquerque V. E. M. 2010. Orchid growth and nutrition in response to mineral and organic fertilizers. *R. Bras. Ci. Solo* 34:1609-1616.

Tse, Leow, A.C. and Khye Tan, T.K. 2007. Versatile hydroponic technology for commercial orchid cultivation. *Acta Hort.* 742:75-83.

Wang, Y.T. 1996. Effect of six fertilizers on vegetative growth and flowering of *Phalaenopsis* orchids. *Scientia Hort.* 65:191–197.

Wang, Y.T. 1998. Impact of salinity and media on growth, flowering, and leaf mineral concentration of a hybrid *Phalaenopsis* orchid. HortScience 33:247–250.

Wang, Y.T. 2007. Potassium concentration affects growth and flowering of *Phalaenopsis* in a bark mix or sphagnum moss substrate. HortScience 42:1563-1567.

Wang, Y.T. and Gregg L.L. 1994. Medium and fertilizer affect the performance of *Phalaenopsis* orchids during two flowering cycles. HortScience 29:269–271.

Wang, Y. T and Konow E. A. 2002. Fertilizer source and medium, composition affect vegetative growth and mineral nutrition of a hybrid moth orchid. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 127: 442-447.

Xiao-yan, L. 2006. Effects of growing media on growth and leaf net photosynthetic rate of *Paphiopedilum callosum*. Southwest China J. Agric. Sci. 19: 44-49.

Zheng, X.N., Wen, Z.Q., Hew, C.S., 1992. Responses of *Cymbidium sinense* to drought stress. Journal of Horticultural Sciences 67, 295-299.

CAPÍTULO IV

EFFECTO DE FERTILIZACIÓN SOBRE LA CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL

DE *Laelia autumnalis* Y *Paphiopedilum insigne*

RESUMEN

La información sobre la composición nutrimental de las plantas permite conocer su estatus nutrimental y a la vez extrapolar la concentración adecuada de nutrimentos en la solución nutritiva, con el fin de evitar deficiencias o toxicidades. En orquídeas, esta información es escasa, por ello el objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto de la aplicación de tres soluciones nutritivas sobre la concentración nutrimental de dos especies de orquídeas. Las plantas se irrigaron de septiembre de 2009 a diciembre de 2011 en condiciones de invernadero. Se encontró que las soluciones nutritivas afectaron la concentración nutrimental de las orquídeas *Laelia autumnalis* y *Paphiopedilum insigne*. Los niveles de macronutrimentos se incrementaron desde el inicio del experimento, sin embargo, los micronutrimentos disminuyeron. La solución Wynd aumentó los niveles en los macronutrimentos de las orquídeas *L. autumnalis* y *P. insigne*, aunque esta última también fue afectada por la solución Steiner. En los micronutrimentos los niveles se incrementaron en *L. autumnalis* con la solución Hoagland-Arnon respecto al testigo, lo contrario ocurrió en *P. insigne*, donde el testigo aumentó los niveles de micronutrimentos.

Palabras clave: concentración nutrimental, soluciones nutritivas, *Laelia autumnalis*, *Paphiopedilum insigne*.

INTRODUCCIÓN

La producción de orquídeas en maceta ha tenido un aumento desde la década de los 90's, debido a varios factores como la creciente popularidad en Europa, Asia y Estados Unidos, la mejora de las técnicas y prácticas de propagación, la aceptación por los cultivadores de orquídeas en maceta como cultivo rentable, la mejora en rendimiento de las plantas y la segmentación de la cadena de suministro (Britt, 2000).

Uno de los problemas más comunes e importantes en el cultivo de las orquídeas es la nutrición, esto se refleja en la falta de publicaciones sobre la composición química de los órganos, la cual es información básica o esencial para comparaciones válidas o conclusiones de investigadores y productores de orquídeas. El análisis químico de tejido vegetal en los diferentes órganos de la planta es una herramienta que nos permite conocer el estatus nutrimental de las plantas, así como ubicar los sitios de mayor o menor acumulación de los nutrimentos, es decir, en que parte u órgano de la planta se acumula y en que magnitud (Poole y Sheehan 1973). Además, permite confirmar la respuesta de las plantas a la aplicación de fertilizantes o soluciones nutritivas.

Wang (1998) probó los efectos de salinidad en orquídeas *Phalaenopsis* cultivadas en corteza fina de abeto y una combinación de 80% corteza y 20% turba. Encontró

una disminución en diámetro de flor y un aumento de flores conforme se aumenta la salinidad. En el análisis químico foliar reportó que la salinidad afectó la mezcla corteza-turba, disminuyó el contenido de P, Fe y Cu lo y aumentando los de K, Ca, Mg, Na y Zn.

Otro hecho relevante fue donde se desarrolla un híbrido de *Phalaenopsis* interactuando con dos sustratos; corteza y la mezcla corteza-turba con diferentes fertilizantes solubles: 10N-13.1P-16.6K, 20N-8.6P-16.6K, 20N-2.2P-15.8K y un fertilizante líquido 2N-0.4P-1.7K. Se encontró que al utilizar 20N-2.2P-15.8K se obtienen plantas de alta calidad, es decir, plantas con mayor área foliar, peso fresco en hojas y raíces. Además, se encontró que las concentraciones nutrimentales en sustratos y hojas fueron adecuados en la mayoría de los nutrientes permitiendo el buen desarrollo de *Phalaenopsis* (Wang y Konow, 2002).

Wang (2008) sugiere que *Phalaenopsis* no se desarrolla bien al utilizar 100% de $\text{NH}_4\text{-N}$, es preferible suministrar $\text{NO}_3\text{-N}$ en no menos de 50%, siendo mejor un 75% del total de N, el cual permite un mejor crecimiento y floración. Sin embargo, no se reporta acumulación de nutrientes en las plantas en estudio.

Con lo antes expuesto, los estudios sobre fertilización de orquídeas muestran flores notablemente mejores en tamaño, color y uniformidad utilizando las dosis de fertilización antes mencionadas. También se indica que existen límites para las

aplicaciones de nutrientes con resultados excelentes a precios adecuados o la posibilidad de muerte debido a la toxicidad de nutrientes o salinidad cuando se suministran en exceso (Tomaz *et al.*, 2010). Sin embargo, estas investigaciones se basan principalmente en *Phalaenopsis* y no en la gran variedad de especies e híbridos existentes en el mundo.

Géneros como *Laelia* tienen una amplia gama de colores en sus flores, que va rosa a púrpura y blanco, su inflorescencia es en racimo con una longitud de 30 cm (Halbinger, 1993; Wiard, 1987). Este género consiste de 22 especies, 11 de las cuales se encuentran en México (Halbinger y Soto, 1997). *Paphiopedilum* sp., conocidas como zapatilla de dama, tiene una gran popularidad en la industria de las flores, sin embargo, el manejo de esta orquídea se ha mantenido sin cambios (Huang, 2001). Así también, estas especies han sido fuertemente afectadas debido a la destrucción de su hábitat y extracción excesiva de las plantas (Ávila-Díaz *et al.*, 2009, Long, 2010). Además, se ha generado escasa información sobre su concentración y requerimiento nutrimental.

Por tal motivo, esta investigación tuvo como objetivo estudiar el efecto de la aplicación de tres soluciones nutritivas sobre la concentración nutrimental de dos especies de orquídeas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis químico de tejido vegetal se realizó en el laboratorio de nutrición Dr. Salvador Alcalde Blanco del Programa de Edafología, Campus Montecillos, Edo. México.

Establecimiento del experimento. Se utilizaron plantas de *Laelia autumnalis*, adquiridas en las zonas de bosque de Uruapan, Michoacán y *Paphiopedilum insigne* adquiridas con un proveedor de las misma zona. Las orquídeas se trasplantaron en macetas oscuras de plástico de 6 pulgadas de diámetro (15.24 cm), desarrolladas en una mezcla de sustratos que contenía carbón vegetal + tezontle + corteza de pino + turba-vermiculita en una relación de 1:2:2:1, con 64% de porosidad total, 26% de retención de agua y 38% de capacidad de aireación. Las orquídeas fueron irrigadas por dos años tres meses con tres soluciones nutritivas basadas en Hoagland-Arnon (1938), Steiner (1984), Wynd (1933) tomadas de Hewitt (1966) (Cuadro 1) y un testigo: agua de pozo, a la cual se le realizó un análisis químico (Cuadro 2); se ajustaron todas a un pH de 5.5 a 6.0. El experimento se realizó en invernadero con variación de la temperatura de 28 máxima y 11 °C mínima y una humedad relativa de máxima 80 y mínima 34%, una malla sombra al 60% para evitar excesos de radiación.

Cuadro 1. Concentración (mg L⁻¹) de nutrimentos en las soluciones nutritivas utilizadas para irrigar orquídeas.

Nutrimento	Hoagland-Arnon	Steiner	Wynd
Nitrógeno	210	167	225
Fósforo	31	31	137
Potasio	235	277	112
Calcio	160	183	169
Magnesio	49	49	25
Azufre	64	67	24-6
Hierro	5	3	
Manganeso		1.97	
Boro		0.44	
Zinc		0.11	
Cobre		0.02	
Molibdeno		0.007	

Cuadro 2. Análisis químico del agua de pozo utilizada para preparar las soluciones nutritivas.

											<u>Agosto 2009</u>									
				N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺										
											mg L ⁻¹									
				0.294	0.098	0.172	0.186	1.235	1.469	2.775										
											<u>Mayo 2010</u>									
Mo ²⁻	K ⁺	Na ⁺	B	Ca ²⁺	Cu ²⁺	Fe ²⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	H ₂ PO ₄ ⁻	Zn ²⁺										
											mg L ⁻¹									
0.0267	3.926	39.386	0.067	27.182	0.226	0.133	30.712	0.0218	0.2038	0.055										

Análisis nutrimental. Se realizó en dos etapas, al inicio y al final del experimento. Las muestras se lavaron con agua destilada y se colocaron en bolsas de papel perforadas, se secaron en una estufa con aire circulante a una temperatura 65 °C. El material fue molido en un molino de acero inoxidable con malla del número 40. Se cuantificaron elementos en raíces, hojas y pseudobulbos de *Laelia autumnalis* y en raíces y hojas de *Paphiopedilum insigne*, determinando: N (total) por el

método Semimicro-Kjeldahl (Bremner, 1965; Nelson y Sommers, 1973), NO_3^- con el método de Cataldo (Cataldo *et al.*, 1975), y P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Zn, Mn, Mo, Na y Cl mediante el método de absorción atómica, el cual es mediante digestión húmeda del material seco con una mezcla de ácido perclórico-nítrico (Alcántar y Sandoval, 1999). Los extractos obtenidos se leyeron en un equipo de espectroscopia de emisión atómica de inducción por plasma ICP-AES (Varian-TM, Liberty II, Mulgrave, Victoria, Australia).

Diseño de tratamientos. Se utilizó un factorial dos por cuatro, resultado de la combinación de dos especies de orquídeas con tres soluciones nutritivas y un testigo, generando ocho tratamientos.

Diseño experimental y análisis de datos. El diseño experimental fue un completamente al azar, la unidad experimental fue una planta y los tratamientos consistieron de la combinación de 2 especies: *Laelia autumnalis* y *Phaphiopedilum insigne* con 4 repeticiones y tres soluciones nutritivas Hoagland (1950), Steiner (1984), Wynd (1933) y agua de pozo (testigo).

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza y una comparación de medias ($P \leq 0.05$), utilizando el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) para windows v9.

RESULTADOS

En el Cuadro 3 se muestran los valores del análisis químico en tejido vegetal de diferentes órganos de las orquídeas *Laelia autumnalis* y *Paphiopedilum insigne*, al inicio del experimento. En las hojas de *Laelia autumnalis* se observaron niveles bajos de macronutrientes con excepción de Ca, el cual fue suficiente. Respecto a micronutrientes, sus niveles fueron de suficiencia, excepto Na con un nivel alto, a pesar de que este no es un elemento esencial y es extraño que presente alta concentración ya que es una planta epífita y estuvo en su medio natural. En lo que respecta a las hojas de *Paphiopedilum insigne*, los valores se encontraron bajos en macronutrientes, excepto P y Mg con niveles de suficiencia. Los micronutrientes Mn y Zn presentaron niveles de suficiencia y el resto niveles altos, de acuerdo con los criterios de interpretación de nutrientes foliares reportados por Jones *et al.* (1991) para los géneros de *Cattleya* sp. y *Phalaenopsis* sp. En relación al contenido nutricional en pseudobulbos los niveles fueron menores en comparación con el análisis foliar, menos Mg, Fe, B y Na los cuales aumentaron. Las raíces de igual forma disminuyeron la concentración de nutrientes, no tomando en cuenta Fe, B y Na en *Laelia autumnalis*. La concentración de nutrientes como N, P, Fe, Zn y Na en raíces de *Paphiopedilum insigne* fueron mayores a la concentración foliar.

En general, se puede indicar que durante los dos años y tres meses de irrigar con distintas soluciones nutritivas las plantas de orquídeas la concentración nutricional de éstas se incrementó significativamente respecto a las plantas tratadas únicamente con agua (Cuadros 4 y 5).

Nitrógeno, Fósforo y Potasio (N, P y K). Se encontró que la orquídea *Laelia autumnalis* al ser irrigada con la solución Steiner mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) respecto a las plantas testigo, incrementando 35% la concentración de N foliar y 226% de N en raíces y en P el aumento fue de 20% en hojas, 165% en pseudobulbos y 150% en raíces (Cuadro 4). La concentración *Paphiopedilum insigne* también fue incrementada por esta solución en 62% de N en raíz, 73% de P en hojas y 30% de P en raíces con respecto al testigo (Cuadro 5).

La aplicación de la solución de Wynd a las plantas de *Laelia autumnalis* ocasionó diferencias significativas en la concentración de N y P respecto a las plantas tratadas únicamente con agua, aumentando 226% de N y 433% K en pseudobulbos (Cuadro 4). La concentración de P también se elevó en plantas de *Paphiopedilum insigne*, en un 50 y 37% en hojas y raíces con la solución Wynd (Cuadro 5).

Para la solución Hoagland-Arnon las plantas de *Laelia autumnalis* tratadas con esta solución mostraron diferencias significativas en la concentración de P, respecto a las plantas testigo, aumentando en 100 y 1225% los niveles de P en hojas y raíces (Cuadro 4). De igual forma las plantas de *Paphiopedilum insigne* mostraron efecto de los tratamientos incrementó la concentración de N 52% en hojas (Cuadro 5). Las concentraciones de estos tres elementos son considerados como bajos de acuerdo con los reportes de Jones *et al.* (1991) y Poole *et al.* (1973) en un híbrido de *Cattleya* y *Phalaenopsis*.

Calcio, Magnesio y Azufre (Ca, Mg y S). La solución Wynd incrementó significativamente las concentraciones foliares en *Laelia autumnalis* en 25% de Ca, 52% de Mg y 350% de S, mientras que en pseudobulbos y raíces el aumento fue 116 y 193% de Mg, respectivamente. En *Paphiopedilum insigne* afectó 16 y 71% de Mg y S en hojas, asimismo 30% de Mg en raíces. Los rangos de concentración en hojas se consideran bajos para Ca, óptimos para Mg y S en pseudobulbos y raíces (Jones *et al.*, 1991; Poole *et al.*, 1973). Al aplicar la solución Steiner se vio afectada la concentración de Ca y S en pseudobulbos de *L. autumnalis* aumentando 59 y 404%, en *P. insigne* y 62% de Ca en raíces, las concentraciones son consideradas como óptimas a altas según Poole *et al.* (1973). En las raíces los porcentajes fueron 412% de Ca, 71% de S en *L. autumnalis*, en *P. insigne* 92% de S incrementados por la solución Hoagland-Arnon con respecto al testigo; sin embargo, esta solución también incrementó la concentración de Ca foliar de esta especie con 5%. Las concentraciones son consideradas como óptimas según Poole *et al.* (1973) (Cuadros 4 y 5).

Micronutrientes. El análisis de varianza arrojó diferencias estadísticas atribuidas a los tratamientos para casi todos los micronutrientes, excepto Cl. En general, la concentración de los micronutrientes se redujo desde el inicio del experimento al final de éste, excepto para Fe y Na, los cuales aumentaron al utilizar la solución Hoagland-Arnon y en el testigo (Cuadro 3). En *Laelia autumnalis* las concentraciones de micronutrientes son considerados bajos para Mn, Zn, Cu y óptimos para Fe de acuerdo con Poole *et al.* (1973). En el caso de

Paphiopedilum insigne las concentraciones fueron óptimas para Fe, B, Zn y Cu según Jones *et al.* (1991).

Manganeso y Zinc (Mn y Zn). Con el empleo de la solución Wynd la concentración de Mn en *Laelia autumnalis* aumentó 51 y 93% de Zn en hojas, 67% en pseudobulbos y 62% en raíces con respecto al testigo (Cuadro 4). Las concentraciones de Mn y Zn en raíces de *Paphiopedilum insigne* aumentaron 57 y 10% al utilizar la solución Steiner con respecto al testigo, en hojas de esta especie no hubo ningún incremento (Cuadro 5).

Cobre (Cu). El cobre mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) al utilizar la solución Steiner, incrementando la concentración en 12 y 87% respecto al testigo sólo en las raíces de *Laelia autumnalis* y *Paphiopedilum insigne*, respectivamente (Cuadros 4 y 5).

Boro y Sodio (B y Na). Estos elementos aumentaron su concentración al utilizar la solución Hoagland-Arnon. La concentración de B se elevó 67% en *Laelia autumnalis* y 39% en *Paphiopedilum insigne* en raíces, con respecto al testigo. La concentración de Na incrementó 53% en hojas de *L. autumnalis* y 59% en los pseudobulbos. En el caso de *P. insigne* solo incrementó la concentración en hojas en un 68% respecto al testigo (Cuadros 4 y 5).

DISCUSIÓN

Las concentraciones en tejido vegetal fueron afectadas desde el inicio del experimento, los macronutrientes se incrementaron y los micronutrientes

disminuyeron. Las soluciones nutritivas influyeron en la concentración nutrimental en órganos de las orquídeas *Laelia autumnalis* y *Paphiopedilum insigne* en contraste con el testigo. La solución Wynd aumentó las concentraciones en los macronutrientos, en órganos de las orquídeas *L. autumnalis* y *P. insigne* aunque esta última también tuvo un incremento por la solución Steiner. En micronutrientos fue la solución Hoagland-Arnon la que obtuvo concentraciones altas en *Laelia autumnalis*, caso contrario en *Paphiopedilum insigne*, donde el testigo aumentó las concentraciones de micronutrientos. Sin embargo, la mayoría de las concentraciones encontradas son bajas de acuerdo con los reportes para obtener un buen desarrollo de las orquídeas (Jones *et al.*, 1991, Poole *et al.*, 1973; Wang, 2007).

Wang (1998) menciona que al desarrollar un híbrido de *Phalaenopsis* y tener un aumento de sales en una mezcla de corteza-turba, las concentraciones foliares disminuyeron la concentración de P, Fe y Cu e incrementaron K, Ca, Mg, Na y Zn, mientras que el N no es afectado por el incremento de sales. Los presentes resultados obtenidos en las plantas de *L. autumnalis* y *P. insigne* coinciden con lo reportado por Wang (1998) para la mayor parte de los elementos estudiados. Sin embargo, existieron excepciones las cuales pudieran ser atribuidas a otros factores. Wang (2002) menciona que al desarrollar *Phalaenopsis* en corteza y tener una fuente de fertilización constante, el P tiende a duplicarse en las hojas. De acuerdo con el informe anterior hay coincidencia con este efecto en el P, el cual es más evidente en la orquídea *L. autumnalis*, ya que obtuvo un incremento

de 200% en hojas con respecto al testigo, comparado con el inicio del experimento.

Se ha documentado que las diferencias genóticas, los órganos, la edad del tejido, la disponibilidad de los nutrimentos en el sustrato y la interacción de los nutrimentos con el ambiente, son factores que influyen en la concentración de los nutrimentos en las plantas (Jones *et al.*, 1991; Smith, 1988).

Las concentraciones de micronutrimentos, como Fe en *Paphiopedilum insigne*, Na y B en *Laelia autumnalis* y *P. insigne*, son consideradas altas de acuerdo con Jones *et al.* (1991), sin embargo, no se encontraron síntomas de toxicidad en plantas. Damattè y Graziano (2000), en un estudio con *Dendrobium nobile* encontró en el primer año concentraciones altas de Mg, B y Mo, los cuales pudieron ser absorbidos del sustrato, por lo cual estas concentraciones pueden contribuir significativamente a la nutrición. Altas concentraciones de nutrimentos pueden ser perjudiciales para el crecimiento de las plantas, y más si es una especie que muestra una alta absorción de nutrientes, por lo que se deben considerar los componentes del sustrato, los cuales pueden tener concentraciones importantes, esto con el fin de evitar la toxicidad.

Al irrigar *Laelia autumnalis* con la solución Wynd, las concentraciones óptimas o suficientes de algunos nutrimentos se encontraron principalmente en hojas y pseudobulbos, muy pocos en raíces, posiblemente para completar los

requerimientos de crecimiento de nuevos tejidos en desarrollo (Ng y Hew 2000). Al emplear las soluciones Steiner y Hoagland-Arnon, los niveles más favorables se ubicaban en raíces, quizás a consecuencia de la acumulación (sedimentación) de la solución nutritiva en la base de la maceta, lo que puede ocasionar que las raíces mueran por la acumulación de sales en el velamen (Tomaz *et al.*, 2010). El testigo también mantuvo concentraciones adecuadas ubicados solo en pseudobulbos. Las orquídeas epifitas de manera natural se enfrentan a fuertes periodos de escasez de nutrientes, por lo que son tolerantes a la baja fertilidad, siendo totalmente dependientes del flujo de nutrientes del pseudobulbo, por lo que los pseudobulbos han demostrado ser de importancia central en el crecimiento y supervivencia de éstas (Hew y Ng, 1996; Ng y Hew, 2000).

Cuadro 3. Análisis químico inicial en diferentes órganos de las orquídeas *Laelia autumnalis* y *Paphiopedilum insigne*.

Órgano	Macro-nutrientes							Micro-nutrientes							
	N	NO ₃ -	P	K	Ca	Mg	SO ₄ -	Fe	Mn	Zn	Cu	Mo	B	Cl	Na
<i>Laelia autumnalis</i>															
Hojas	0.80	0.0001	0.04	1.08	1.39	0.29	0.000003	59	59	41	7	3	102	1	463
Pseudobulbos	0.75	0.0003	0.03	0.79	0.73	0.32	0.000010	63	9	25	7	2	116	1	705
Raíces	0.39	0.0001	0.04	0.07	0.38	0.24	0.000012	1041	55	30	13	6	117	1	596
<i>Paphiopedilum insigne</i>															
Hojas	0.79	0.0012	0.22	1.94	0.94	0.75	0.000000	222	101	58	32	2	133	2	705
Raíces	0.84	0.0001	0.28	0.93	0.40	0.44	0.000017	1176	42	86	17	-	117	1	1045

Cuadro 4. Efecto de la solución nutritiva y distribución de los nutrientes en órganos de *Laelia autumnalis* 2009-2011.

Órgano	Macro-nutrientes															
	N				P				K							
	Agua	Wynd	H-A ^z	Steiner	Agua	Wynd	H-A	Steiner	Agua	Wynd	H-A	Steiner				
Hojas	0.88b ^y	0.86b	1.08ab	1.19a	0.06b	0.10ab	0.12a	0.09ab	0.90ab	0.97ab	0.64b	1.08a				
Pseudobulbos	0.34b	1.11a	0.87ab	0.83ab	0.03bc	0.16a	0.09b	0.07bc	0.26b	0.68a	0.42b	0.69a				
Raíces	0.39b	1.24a	1.13a	1.27a	0.04b	0.53a	0.53a	0.16b	0.18ab	0.40ab	0.13b	0.45a				
	Ca				Mg				S							
	Agua	Wynd	H-A	Steiner	Agua	Wynd	H-A	Steiner	Agua	Wynd	H-A	Steiner				
Hojas	1.90b	2.37a	2.35ab	2.28ab	0.74b	1.13a	0.74b	0.63b	0.16b	0.72a	0.28b	0.39b				
Pseudobulbos	0.76b	1.05ab	0.81b	1.21a	0.63b	1.36a	0.69b	0.80b	0.25b	1.26a	0.57b	0.66b				
Raíces	0.64b	1.43b	3.28a	2.05ab	0.55c	1.61a	1.24ab	0.76bc	0.40b	1.62ab	1.85a	1.49ab				
	Micro-nutrientes															
	Fe				Mn				B				Zn			
	Agua	Wynd	H-A	Steiner	Agua	Wynd	H-A	Steiner	Agua	Wynd	H-A	Steiner	Agua	Wynd	H-A	Steiner
Hojas	74b	76b	75b	191a	47ab	26b	71a	42b	158a	128ab	96b	144a	15b	29a	24ab	14b
Pseudobulbos	151a	108bc	144ab	88c	3a	4a	5a	4a	122a	118a	77b	85b	13ab	8b	11ab	16a
Raíces	719a	598 ^a	782a	713a	50a	43a	79a	81a	102b	147ab	131ab	172a	22b	19b	40 ^a	40a
	Cu				Cl				Na							
	Agua	Wynd	H-A	Steiner	Agua	Wynd	H-A	Steiner	Agua	Wynd	H-A	Steiner				
Hojas	5ab	3b	7a	5ab	1a	1a	1a	1a	825b	630b	1263a	664b				
Pseudobulbos	5a	3b	4ab	3b	1a	1a	1a	1a	2490b	2273b	3955a	2604b				
Raíces	8a	6a	7a	9a	1a	1a	1a	1a	3760a	3447a	3648a	2372 ^a				

^y Para la comparación de medias letras diferentes en una misma hilera indican medias diferentes entre soluciones nutritivas, con $P \leq 0.05$.

^zH-A= Solución Hoagland-Arnon.

Cuadro 5. Efecto de la solución nutritiva y distribución de los nutrimentos en órganos de *Paphiopedilum insigne*.

Órgano	Macro-nutrimentos															
	%															
	N				P				K							
	Agua	Wynd	H-A ^z	Steiner	Agua	Wynd	H-A	Steiner	Agua	Wynd	H-A	Steiner				
Hojas	1.13b ^y	1.58a	1.72a	1.66a	0.24b	0.33a	0.22b	0.19b	1.02b	1.24a	1.10a	1.77a				
Raíces	1.17b	1.78a	1.78a	1.90a	0.12c	0.45a	0.28b	0.17bc	0.33ab	0.20b	0.27b	0.49a				
	Ca				Mg				S							
	Agua	Wynd	H-A	Steiner	Agua	Wynd	H-A	Steiner	Agua	Wynd	H-A	Steiner				
Hojas	1.07a	0.82b	1.12a	1.07a	0.85a	0.90a	0.63b	0.61b	0.14b	0.24a	0.15b	0.16b				
Raíces	0.99bc	1.38ab	1.27b	1.60a	0.80b	1.04a	0.67b	0.74b	0.26b	0.40ab	0.39ab	0.50a				
	Micro-nutrimentos															
	mg kg ⁻¹															
	Fe				Mn				B				Zn			
	Agua	Wynd	H-A	Steiner	Agua	Wynd	H-A	Steiner	Agua	Wynd	H-A	Steiner	Agua	Wynd	H-A	Steiner
Hojas	476a	349ab	320b	275b	51a	38a	22a	26a	164a	156a	123a	126a	39a	24b	24b	25b
Raíces	1430a	1690a	1668a	1093a	56b	64b	68b	88a	100a	94a	136a	139a	69a	50a	56a	76a
	Cu				Cl				Na							
	Agua	Wynd	H-A	Steiner	Agua	Wynd	H-A	Steiner	Agua	Wynd	H-A	Steiner				
Hojas	5a	4a	5a	3a	1a	1a	1a	1a	1769a	1577a	2967a	2211a				
Raíces	16bc	30a	20b	13bc	1a	1a	1a	1a	3204a	1366b	1399b	1754b				

^y Para la comparación de medias letras diferentes en una misma hilera indican medias diferentes entre soluciones nutritivas, con $P \leq 0.05$.

^zH-A = Solución Hoagland-Arnon.

CONCLUSIONES

La concentración nutrimental en órganos de las orquídeas *Laelia autumnalis* y *Paphiopedilum insigne* fue influenciada por las soluciones nutritivas. El uso de la solución Wynd incrementó la concentración de los macronutrientes en las dos especies de estudio, caso contrario con los micronutrientes, donde el testigo y la solución Hoagland-Arnon son los que causaron un aumento de estos.

LITERATURA CONSULTADA

Ávila-Díaz, I. Oyama, K., Gómez-Alonso, C. Salgado-Garciglia, R. 2009. *In vitro* propagation of the endangered orchid *Laelia speciosa*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 99:335–343.

Alcántar, G. G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación Especial No. 10 de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C., Chapingo, México. 156 p.

Bremner, J. M. 1965. Total nitrogen. *In: Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy* 9. Black, C. A. (ed). pp. 1149-1178. American Society of Agronomy. Madison, WI, USA.

Britt, J. 2000. The status of commercial production of potted orchid around the world. *HortTechnology* 10:435–436.

Cataldo D.A, M. Haroon, L.E. Schrader and V.L. Youngs. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. Communications in Soil Science and Plant Analysis 6: 71-80.

Demattê, M.E.S.P. and Graziano, T.T. 2000. Growth of *Dendrobium nobile* Lindl. as related with nutrient concentration in the growing media. Acta Horticulturae (ISHS) 511:265-270.

Halbinger F. 1993. Laelias de México. Asociación Mexicana de Orquideología México. 72 p.

Halbinger, F. y Soto, M. 1997. Laelias of México. Herbario AMO. Revista Orquídea. México. Vol 15. 15 p.

Hewitt E. J. 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. CAB. England 547p.

Huang L. C., Lin C. J., Kou C. I., Huang B. L., Murashige T. 2001. *Paphiopedilum* cloning *in vitro*. Scientia Horticulturae, 91: 111-121.

Hew C.S. and Ng, C.K.Y. 1996. Changes in mineral and carbohydrate content in pseudobulbs of the C3 epiphytic orchid hybrid *Oncidium goldiana* at different growth stages. Lindleyana 11: 125-134.

Jones Jr, J.B., Wolf, B. & Mills, H.A.1991. Plant analysis handbook. Micro-Macro Publishing. Athens, GA, USA. 213 p.

Long B., Niemeira A.X, Cheng ZY, Long Cl. 2010. *In vitro* propagation of four threatened *Paphiopedilum* species (Orchidaceae). Plant Cell, Tissue and Organ Culture 101:151–162.

Ng C.K.Y. and Hew C.S. 2000. Orchid pseudobulbs - 'false' bulbs with a genuine importance in orchid growth and survival Scientia Horticulturae 83:165-172.

Nelson D.W. and Sommers L.E.. 1973. Determination of total nitrogen in plant material. Agronomy Journal 65: 109-111.

Poole H. A. and Sheehan, T. J. 1973. Chemical composition of plant parts of *Cattleya* orchids. American Orchid Society Bulletin 4638:889-895.

Smith F. W. 1988. Interpretation of plant analysis. Concepts and principles. *In*: Plant analysis. An interpretation manual. Reuter D. J. and Robinson, J. B. (Ed.). Inkata Press. Melbourne, Sydney, Australia. 1-12 p.

Tomaz R, D. Ferreira N, R. Alvarez V. H, Moreira D. J. M. and Albuquerque V. E. M 2010.Orchid growth and nutrition in response to mineral and organic fertilizers. Revista Brasileira de Ciência do Solo 34:1609-1616.

Wang Y.T. 1998. Impact of salinity and media on growth, flowering, and leaf mineral concentration of a hybrid *Phalaenopsis* orchid. HortScience 33:247–250.

Wang Y. T. 2007. Potassium nutrition affects *Phalaenopsis* growth and flowering. HortScience 42:1563–1567.

Wang Y. T. 2008. High NO₃-N to NH₄-N ratios promote growth and flowering of a hybrid *Phalaenopsis* grown in two root substrates. HortScience 43:350–353.

Wiard L. A. 1987. An introduction to the orchids of Mexico. Comstock Publishing. Ithaca, NY, USA. 239 p.

Wang Y. T and Konow E. A. 2002. Fertilizer source and medium, composition affect vegetative growth and mineral nutrition of a hybrid month orchid. Journal of American Society Horticultural Science 127: 442-447.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN GENERAL

Sustrato

En este estudio, de manera general, se puede afirmar que el sustrato o mezcla de materiales en donde se desarrolló la orquídea *Paphiopedilum insigne* presentó disgregación física con el paso del tiempo, así como cambios en su estabilidad por la solución nutritiva. De igual forma, ocurrieron cambios en las propiedades químicas: pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica (MO), nitrógeno total (Nt), P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn, Cl y Na, derivados de la influencia de la solución nutritiva sobre el sustrato. La planta también ocasionó cambios en el sustrato debido al crecimiento de ésta y la actividad microbiana, y los periodos de calentamiento en primavera y verano, que dieron lugar a riegos más frecuentes aumentando dicha actividad (Luque y Pérez, 1976; Wang y Konow, 2002).

Las concentraciones de macronutrientes encontrados en el sustrato donde se desarrolló *P. insigne* se consideran bajos de acuerdo con Wang y Konow (2002). En los macronutrientes, la retención de iones es causada por diferentes factores; conforme pasa el tiempo de utilización del sustrato se acumula MO en éste, resultante de los restos de raíces; los efectos de esta acumulación se manifiestan sobre la solución nutritiva con la formación de complejos órgano-minerales insolubles con los iones de Fe, Al y fosfatos, principalmente, que pueden causar

estados deficitarios a las plantas; posteriormente, al disociarse estos complejos por descomposición de la MO, los iones vuelven a quedar libres, pudiendo producir efectos tóxicos. La concentración de Ca en el sustrato afectará directamente a la concentración de fosfatos en la solución nutritiva, ya que se puede producir una precipitación en forma de fosfato de calcio insoluble, que evoluciona a la formación de un fosfato tricálcico que se sitúa alrededor de las partículas del mismo sustrato (Landis, 2000).

Los micronutrientes como Cl y otros que no lo son como el Na^+ son tóxicos para las plantas a altas concentraciones. El Na^+ tiene un efecto en la estructura del sustrato; sin embargo, las concentraciones encontradas fueron bajas, pero el Fe y Mn presentan concentraciones altas comparadas con reportes de Wang y Konow (2002), y que en un futuro puede ocasionar problemas en el desarrollo de la planta.

Respecto al sustrato donde se desarrolló la orquídea *Laelia autumnalis*, las propiedades físicas y químicas tuvieron incrementos significativos al irrigar el sustrato con agua de pozo, incrementando porosidad total, porcentaje de aireación, densidad aparente, pH, CE, CIC, MO, micronutrientes (Fe, Mn, Zn y Cl). El pH y la CE presentaron la misma tendencia de aumento, por lo que pudieron ocasionar el bloqueo de algunos nutrientes para las plantas, así como la formación de carbonatos de calcio y magnesio (Steiner, 1984). Ambos efectos son atribuidos a la falta de lavado de sales del sustrato como se recomienda, eso

con el fin de evitar la salinización y reducción en el rendimiento de la planta (Goykovic y Saavedra, 2007).

Desarrollo vegetativo

Las soluciones Wynd, Steiner y Hoagland-Arnon incrementaron el crecimiento y desarrollo de plantas de *Paphiopedilum insigne* en contraste con las plantas testigo. Xiao-yan (2006) obtuvo incrementos en área foliar y peso fresco en plantas de *Paphiopedilum callosum* desarrolladas en turba y tres diferentes musgos, fertilizadas con Osmocote durante cuatro meses, lo cual es consistente con la orquídea *Paphiopedilum insigne* en área foliar y peso fresco. En lecturas SPAD se obtuvieron diferencias significativas, caso contrario con este autor el cual no obtuvo diferencias, esto puede deberse al tiempo prolongado en que fueron fertilizadas y a la concentración de N que aportó cada una de las soluciones nutritivas evaluadas.

En el caso de la orquídea *Laelia autumnalis* se obtuvieron buenos resultados con el uso de las soluciones Wynd y Steiner. Estas orquídeas presentan órganos de almacenamiento llamados pseudobulbos, los cuales tienen la capacidad de almacenar agua, minerales e hidratos de carbono (Ng y Hew, 2000). En la acumulación de nutrientes minerales durante el periodo de desarrollo, el pseudobulbo constituye una fuente de reserva para el posterior desarrollo de los nuevos botones florales. La absorción de nitrato es mayor durante la formación y desarrollo de nuevos pseudobulbos (Hew y Ng, 1996). La solución Wynd cubrió

estas necesidades debido a que contenía la concentración más alta de N (225 mg L⁻¹) de las tres soluciones utilizadas, lo cual permitió un mayor desarrollo de la planta.

Concentración nutrimental

Las concentraciones nutrimentales en tejido vegetal fueron afectadas desde el inicio del experimento, donde los macronutrientes se incrementaron y los micronutrientes disminuyeron. Las soluciones nutritivas influyeron en la concentración nutrimental en órganos de las orquídeas *Laelia autumnalis* y *Paphiopedilum insigne* en contraste con el testigo. Sin embargo, la mayoría de las concentraciones encontradas son bajas de acuerdo con los reportes para obtener un buen desarrollo de las orquídeas (Jones *et al.*, 1991; Poole *et al.*, 1973; Wang, 2007).

Al respecto Wang (1998) menciona que al desarrollar un híbrido de *Phalaenopsis*, al aumentar las sales en una mezcla de corteza-turba, las concentraciones foliares muestran disminución de P, Fe y Cu e incremento del K, Ca, Mg, Na y Zn, mientras que el N no es afectado por el incremento de sales. Nuestros resultados obtenidos en las plantas de *L. autumnalis* y *P. insigne* coinciden con lo reportado por Wang (1998) para la mayor parte de los elementos estudiados, sin embargo, existieron excepciones; las cuales pudieran ser atribuidas a otros factores. Wang y Konow (2002) mencionan que al desarrollar *Phalaenopsis* en corteza y tener una fuente de fertilización constante, el P tiende a duplicarse en las hojas. De acuerdo

con el informe anterior existe coincidencia con este efecto en el P, el cual es más evidente en la orquídea *L. autumnalis*, ya que obtuvo un incremento de 200% en hojas con respecto al testigo, comparado con el inicio del experimento.

Las concentraciones de micronutrientes, como Fe en *Paphiopedilum insigne*, Na y B en *Laelia autumnalis* y *P. insigne*, son consideradas altas de acuerdo con Jones *et al.* (1991), sin embargo, no se encontraron síntomas de toxicidad en plantas, lo cual sugiere que estas plantas puedan ser tolerantes a concentraciones altas de estos elementos.

Al irrigar *Laelia autumnalis* con la solución Wynd, las concentraciones óptimas o suficientes de algunos nutrientes se encontraron principalmente en hojas y pseudobulbos, muy pocos en raíces, posiblemente para cubrir los requerimientos de crecimiento de nuevos tejidos en desarrollo (Ng y Hew, 2000). Al emplear las soluciones Steiner y Hoagland-Arnon, los niveles más favorables se ubicaban en raíces, esto quizás a consecuencia de la acumulación (sedimentación) de la solución nutritiva en la base de la maceta, lo que puede ocasionar que las raíces mueran por la acumulación de sales en el velamen (Tomaz *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES GENERALES

Las orquídeas *Paphiopedilum insigne* y *Laelia autumnalis* desarrolladas en maceta y bajo condiciones hidropónicas fueron afectadas por las soluciones nutritivas. La solución Hoagland-Arnon permitió un mejor desarrollo de *Paphiopedilum insigne*,

así como un incremento en la concentración nutrimental y una menor descomposición del sustrato. En caso de *Laelia autumnalis* fue la solución Wynd la que incrementó el desarrollo vegetativo y la concentración nutrimental, sin embargo, esta solución provoca en el sustrato mayores cambios en las propiedades físicas y químicas.

LITERATURA CONSULTADA

Goykovic, C. V y Saavedra R.G. 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. IDESIA. Chile 25(3):47-58.

Hew, C.S. and Ng, C.K.Y. 1996. Changes in mineral and carbohydrate content in pseudobulbs of the C3 epiphytic orchid hybrid *Oncidium goldiana* at different growth stages. Lindleyana 11: 125-134.

Jones Jr, J.B., Wolf, B. & Mills, H.A.1991. Plant analysis handbook. Micro-Macro Publishing. Athens, GA, USA. 213 p.

Landis, T. D. 2000. Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. Volumen 4: Fertilización y Riego. Capítulo 2 Riego y Manejo del Agua. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 126 p.

Luque, E. A. and Pérez M. G. 1976. International working group on soilless culture. Sustratos y sus propiedades. Proceedings of the fourth international congress on soilless culture. Las Palmas, España. 303-312 p.

Ng, C.K.Y. and Hew C.S. 2000. Orchid pseudobulbs - 'false' bulbs with a genuine importance in orchid growth and survival Scientia Horticulturae 83:165-172.

Steiner, A. A. 1984. The universal nutrition solutions. *In*: Proceeding sixth International Congress on Soilless Culture, ISOSC. Lunteren, The Netherlands. 633-650.

Tomaz, R, D. Ferreira N, R. Alvarez V. H, Moreira D. J. M. and Albuquerque V. E. M. 2010. Orchid growth and nutrition in response to mineral and organic fertilizers. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34:1609-1616.

Poole, H. A. and Sheehan, T. J. 1973. Chemical composition of plant parts of *Cattleya* orchids. *American Orchid Society Bulletin* 4638:889-895.

Wang, Y.T. 1998. Impact of salinity and media on growth, flowering, and leaf mineral concentration of a hybrid *Phalaenopsis* orchid. *HortScience* 33:247–250.

Wang, Y. T. 2007. Potassium nutrition affects *Phalaenopsis* growth and flowering. *HortScience* 42:1563–1567.

Wang, Y. T and Konow E. A. 2002. Fertilizer source and medium, composition affect vegetative growth and mineral nutrition of a hybrid month orchid. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127: 442-447.

Xiao-yan, L. 2006. Effects of growing media on growth and leaf net photosynthetic rate of *Paphiopedilum callosum*. *Southwest China Journal Agricultural Science.* 19: 44-49.

Anexo I



Figura 1. Efecto final en 16 repeticiones del testigo en el desarrollo vegetativo de *Paphiopedilum insigne*.



Figura 2. Efecto final en 16 repeticiones de la solución Wynd en el desarrollo vegetativo de *Paphiopedilum insigne*.



Figura 3. Efecto final en 16 repeticiones de la solución Hoagland-Arnon en el desarrollo vegetativo de *Paphiopedilum insigne*.



Figura 4. Efecto final en 16 repeticiones de la solución Steiner en el desarrollo vegetativo de *Paphiopedilum insigne*.

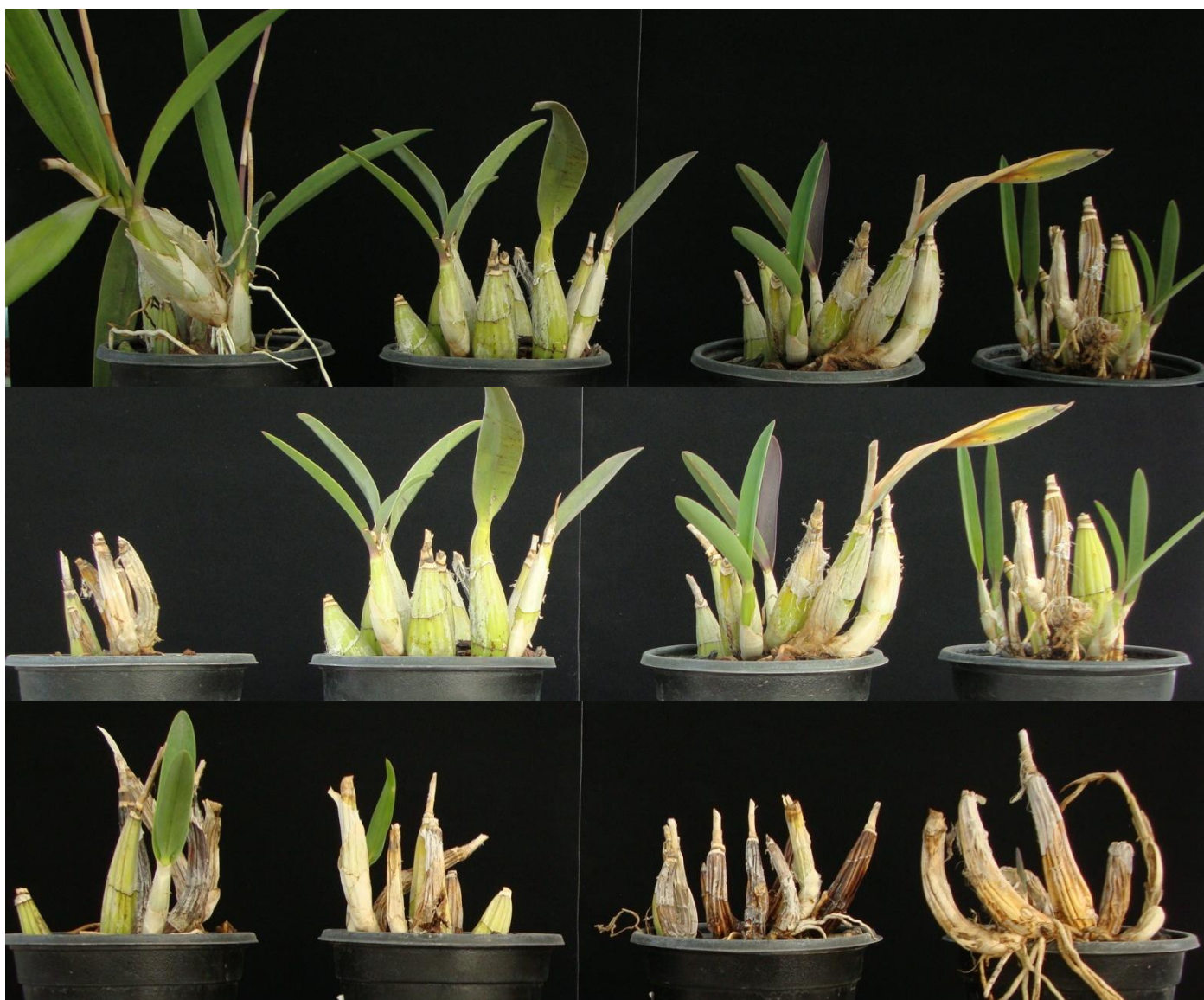


Figura 5. Efecto final en 12 repeticiones del testigo en el desarrollo vegetativo de *Laelia autumnalis*.

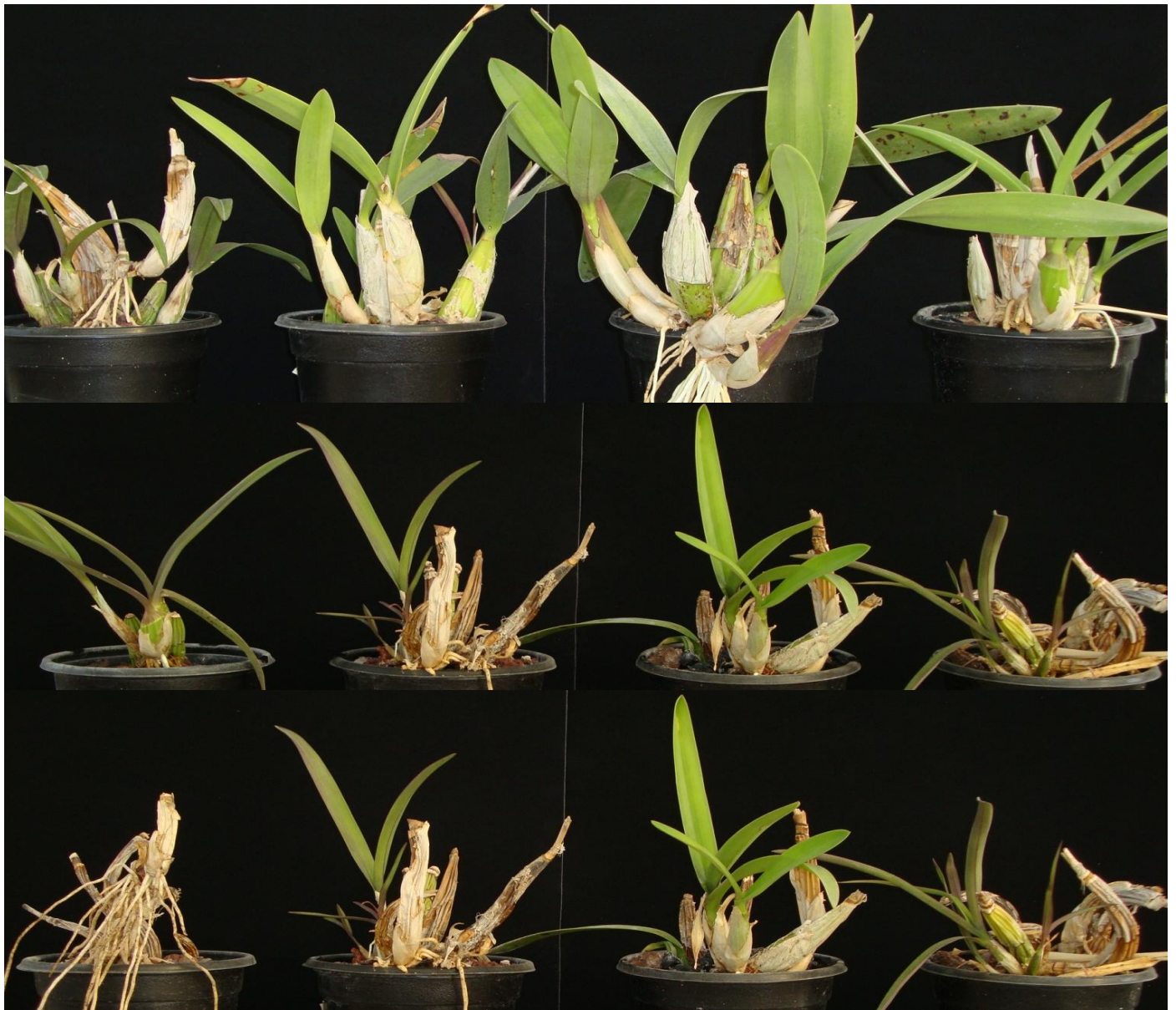


Figura 6. Efecto final en 12 repeticiones de la solución Wynd en el desarrollo vegetativo de *Laelia autumnalis*.

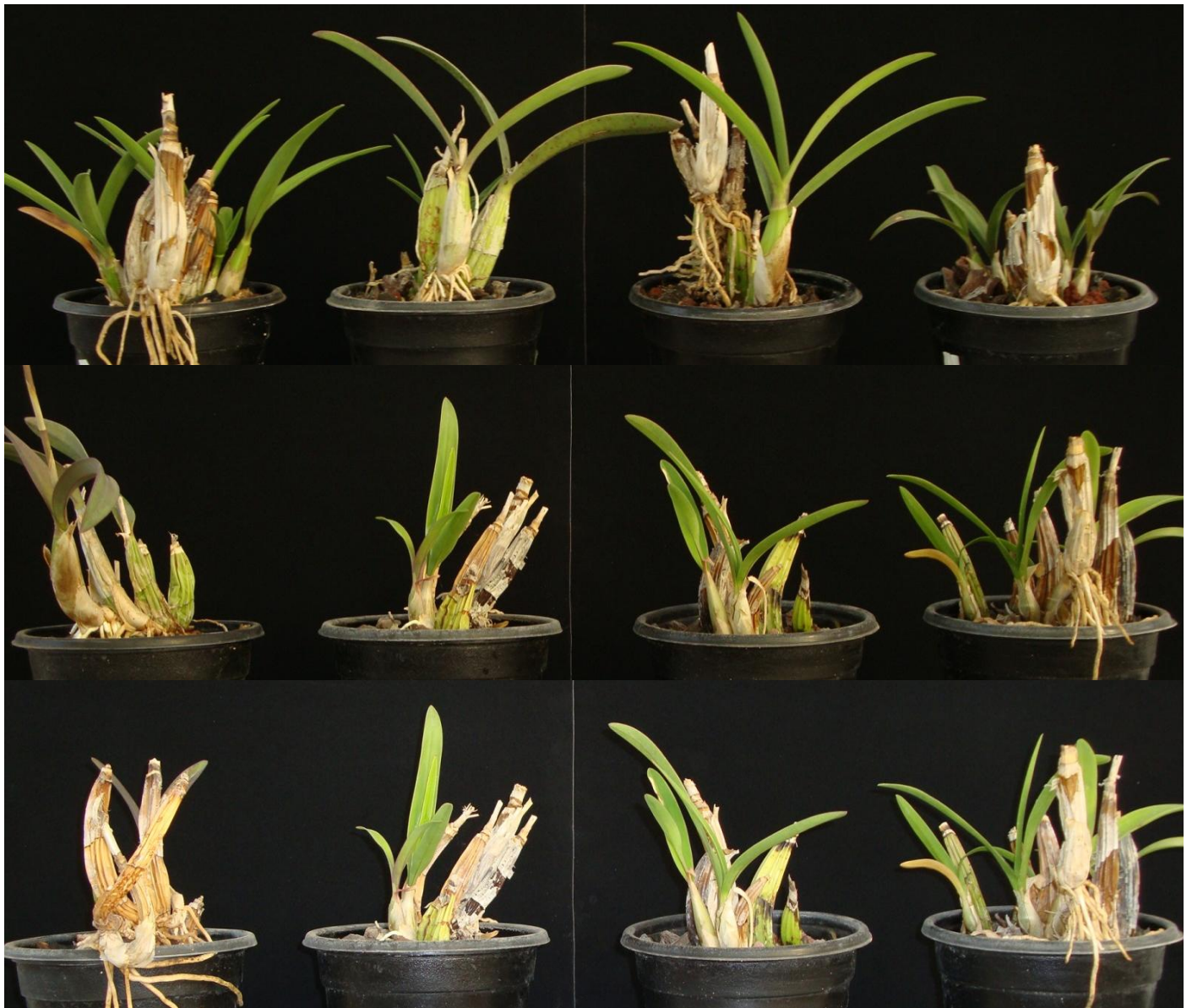


Figura 7. Efecto final en 12 repeticiones de la solución Hoagland-Arnon en el desarrollo vegetativo de *Laelia autumnalis*.

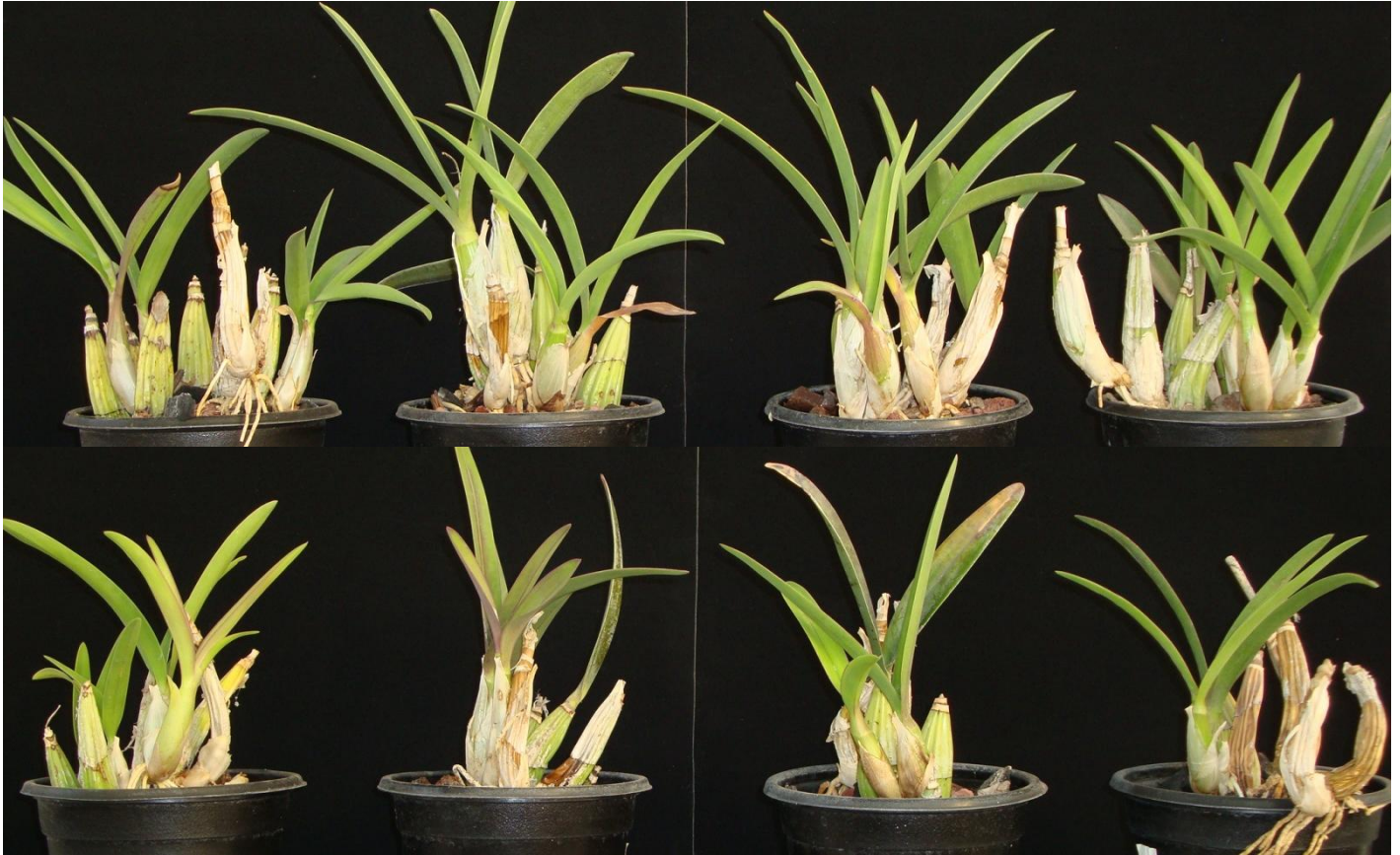


Figura 8. Efecto final en 8 repeticiones de la solución Steiner en el desarrollo vegetativo de *Laelia autumnalis*.

Anexo II

COLONIZACIÓN MICORRÍZICA DE LA ORQUÍDEA *Laelia autumnalis*

INTRODUCCIÓN

El género *Laelia* (Orchidaceae) se compone de 22 especies, de las cuales 11 se encuentran en México. En general, estas orquídeas crecen en los bosques de encinos que se distribuyen principalmente en cadenas montañosas (Halbinger y Soto, 1997). Especies de *Laelia* han sido tradicionalmente cultivadas en los huertos familiares por sus hermosas flores. Sin embargo, las poblaciones naturales de algunas especies se han visto fuertemente afectadas por la destrucción de su hábitat y la extracción excesiva de plantas por lo cual varias especies se encuentran protegidas en la norma NOM-059-2010 (Salazar-Chávez 1996; Halbinger y Soto, 1997; Ávila y Oyama, 2002).

Los miembros de esta familia se caracterizan por depender obligadamente de simbiontes micorrízicos durante la germinación de sus semillas en la naturaleza y como complemento de su alimentación micotrófica (mediada por hongos) durante su ciclo de vida hasta la etapa adulta (Rasmussen, 2002; Smith y Read 1997). El hongo participa en una simbiosis parasítica en donde son las fuentes de alimento para las semillas de orquídeas que carecen de energía para iniciar el proceso de germinación (Smith y Read, 1997). El embrión embebido es rápidamente colonizado por la hifa de un hongo específico, el cual invade algunas células del embrión formando enrollamientos hifales en su interior, llamados pelotones. Estos

pelotones son digeridos por las células del embrión y los nutrimentos que obtiene de esta digestión enzimática son usados para el proceso de germinación, desencadenando la diferenciación de órganos vegetativos (Rasmussen, 1995). Sin la participación de los hongos, el proceso de germinación no ocurre sin un posterior desarrollo. La probabilidad de que una semilla de orquídea germine, aunque esté en contacto con el simbionte micorrízico es en términos generales baja y únicamente algunas de los millones de semillas producidas por una sola planta germinarán (Arditti, 2000). Aunque en la etapa adulta las orquídeas pueden ser menos dependientes de la simbiosis micorrízica, al observarse que no siempre están colonizadas por hongos (Rasmussen, 1995).

Sin embargo, la intensidad de la colonización micorrízica en la naturaleza, en orquídeas epifitas ha sido motivo de controversias. Algunos autores establecieron la idea de que en especies epifitas, la intensidad de colonización era esporádica (Hadley y Williamson; 1972, Lesica y Antibus, 1990). Recientemente, mayor evidencia sostiene que una densa colonización es común en muchas especies tropicales (Bermudes y Benzing 1989; Pereira *et al.*, 2005; Blasí, 2007).

En México, a pesar de albergar aproximadamente 1200 especies de orquídeas, existen pocas descripciones que registren en detalle la presencia micorrízica en orquídeas y los factores que la influyen. Por lo que el presente trabajo, se evaluó la presencia o ausencia de colonización micorrízica (pelotones e hifas) en

diferentes tipos de raíces de la orquídea *Laelia autumnalis* desarrollada en diferentes zonas de bosque de Uruapan, Michoacán.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área experimental y especie de estudio. Se analizaron 7 sitios de estudio de las zonas boscosas de Uruapan, Michoacán (Cuadro 1). La orquídea de estudio fue *Laelia autumnalis* las cuales se encontraron en su hábitat natural en bosque de pino-encino (Figura 1a-b). Las plantas del género *Laelia* son epífitas con habito de crecimiento simpodial; sus raíces son simples, carnosas, y circulares, la porción apical que está en crecimiento es de color verde y el velamen es de color blanco y esponjoso (Halbinger, 1993).

Cuadro 1. Descripción de los sitios de estudio en donde se colectaron raíces de *Laelia autumnalis*.

Localidad	Municipio	Latitud	Longitud	Altitud	Tipo de vegetación	Planta hospedera
Ucasanastacua	Tzintunzan	19° 37' 18.7"	101° 37' 29.4"	2073	Bosque de encino	Quercus
Ucasanastacua	Tzintunzan	19° 37' 18.9"	101° 37' 29.5"	2067	Bosque de encino	Quercus
Ucasanastacua	Tzintunzan	19° 37' 17.5"	101° 37' 29.5"	1981	Bosque de encino	Quercus
San Lorenzo	Uruapan	19° 31' 10.3"	102° 06' 50.2"	2115	Bosque de pino-encino	Pinus-Quercus
San Lorenzo	Uruapan	19° 31' 12.0"	102° 06' 45.7"	2086	Bosque de pino	Pinus
San Lorenzo	Uruapan	19° 30' 40.1"	102° 07' 08.4"	2103	Bosque de pino	Pinus
San Lorenzo	Uruapan	19° 30' 40.8"	102° 07' 06.1"	2082	Bosque de pino	Pinus

Se evaluó la presencia de hifas y pelotones en diferentes estadios de raíces y asociación con la materia orgánica. Las raíces evaluadas fueron: 1) jóvenes; 2)

maduras; 3) viejas (Figura 1 c) y a) fuera de materia orgánica y b) dentro de materia orgánica.

Se siguió la metodología propuesta por Cruz-Blasí (2007) y Ortega-Larrocea (2008) que consta de lavado, esterilizado, corte transversal, teñido con fucsina ácida y azul tripano 0.05% y evaluación. La micorrización fue evaluada para cada uno de los tipos de las raíces de la orquídea *Laelia autumnalis*, descritas anteriormente, en secciones transversales hechas a mano. Se tomó una muestra a 1.5 cm de la base, parte media y punta de la raíz y cada segmento fue envuelto en Parafilm MR para facilitar el corte. Se tomaron seis secciones, de cada segmento de las raíces de los sitios de estudio, los cuales fueron montados en portaobjetos, teñidos con fucsina ácida (0.05%) para ser evaluados en un microscopio óptico a 40 x. Para la evaluación cualitativa de los pelotones e hifas se consideró la presencia y ausencia de estos, basados en su tinción.

Análisis estadístico. Con los datos obtenidos se realizó un ANOVA, así como una prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$), los datos e porcentaje fueron transformados a logaritmos naturales. Se usó el programa estadístico SAS 9.6v.

RESULTADOS PRELIMINARES

En general la intensidad de la colonización micorrízica varió de acuerdo al tipo o la sección de raíz y los diferentes sitios de muestreo (Cuadros 2 y 3). Se encontró que la Muestra 5 procedente de San Lorenzo, Uruapan de un bosque de pino presentó la mayor presencia de hifas con porcentajes mayores a 80 % en el tipo y

sección de raíces. En contraste la Muestra 6 procedente de San Lorenzo, Uruapan de un bosque de pino presentó poca presencia de hifas con porcentajes menores de 30%. En el caso de las raíces desarrolladas fuera de la materia orgánica éstas presentaron mayor porcentaje de hifas independientemente del sitio de estudio, existió una mayor tendencia a presentarse en raíces de individuos presentes en bosque de encino. En el caso de las raíces jóvenes y la sección ubicada en la base de éstas, son las que presentaron mayor presencia de hifas independientemente del sitio.

Las hifas que infectaban células corticales, formadoras de pelotones, fueron localizadas en células de pasaje en diversos puntos de la exodermis y a lo largo de toda la raíz. Lo cual concuerda con los observados por Beinzing (1982), Goh *et al.*, (1992) y Cuz-Blasí (2007).

Por otro lado, se presentó una intensa colonización por la presencia de pelotones, por ejemplo la Muestra 2 procedente de Ucasanastacua, Tzintunzan de bosque de Quercus fue la que presentó más de 60 % de pelotones, independientemente del tipo, estado o sección de las raíces. En contraste, la Muestra 6 procedente de San Lorenzo Uruapan de bosque de pino presentó porcentajes menores de 25% de presencia de pelotones. Las raíces maduras fueron las que presentan mayor intensidad de colonización principalmente en la base, indistintamente del sitio de estudio. Además, las raíces que se desarrollan dentro de la materia orgánica

presentan mayor colonización que aquellas que se encuentran fuera de la materia orgánica.

Raíces bien formadas, en estado maduro y dentro de la materia orgánica, casi siempre presentaron una elevada colonización, en contraste con raíces jóvenes y viejas indistintamente del sitio de estudio. Es posible entonces asumir que cuando las raíces entran en contacto con el sustrato, la colonización aumenta, mientras que las raíces viejas y jóvenes poseen menor colonización. Por lo tanto se puede concluir que el porcentaje de colonización de la orquídea estudiada *Laelia autumnalis* es afectado por el sustrato o materia orgánica. Previamente, algunos autores (Hadley y Williamson 1972; Bermudes, 1989; Rivas *et al.*, 1998; Suárez *et al.*, 2006 y Cruz-Blasi, 2007) han mencionado que las zonas de mayor colonización ocurren en los sitios en donde la raíz tiene contacto con el sustrato y que raíces aéreas se han encontrado libres de colonización.

Un factor que podría estar involucrado en la variación de la colonización micorrízica dentro de la raíz y entre individuos, podría ser la distribución del detritus orgánico en la canopia de los árboles ya que la disposición del detritus orgánico es heterogénea entre la canopia de los árboles y dentro de la corteza de un mismo árbol o rama (Benzing 1986 y Nadkari 1986). En el trabajo se observó una mayor intensidad de colonización en ciertas áreas del corte que en otras como se observa en la Figura 1f. Se observaron pelotones con diferentes estados de digestión, localizados en los estratos celulares más externos del córtex hasta la

endodermis (Figura 1f y 2a, b, c, d). Con estos datos se apoya la idea de que las orquídeas epifitas están intensamente colonizadas tal y como ocurre con especies de orquídeas terrestres y que presentan la misma tendencia mencionada para dicho grupo, en donde se ha señalado que los sitios donde ocurre mayor colonización son aquellos en los que se tiene contacto al sustrato.

Cuadro 2. Análisis de varianza y comparación de medias para la variable presencia de hifas en raíces de la orquídea

Laelia autumnalis colectadas en siete sitios de estudio (m. o. = materia orgánica).

Tipo de raíz		Media	DS	Pr ≤ F	Sección	Media	DS	Pr ≤ F
Muestra 6 San Lorenzo, Uruapan bosque de pino								
Dentro de m. o.	a	6.94	25.60	0.542	Base	a	10.42	0.756
Fuera de m. o.	a	9.72	29.83		Media	a	6.25	
					Punta	a	8.33	
Joven	a	8.33	27.83	0.2288	Base	a	13.54	0.0445
Madura	a	8.33	27.74		Media	a	11.46	
Vieja	a	15.28	36.23		Punta	a	5.21	
Muestra 2 San Lorenzo Uruapan, bosque de pino-encino								
Dentro de m. o.	a	30.56	46.39	0.0686	Base	a	39.58	0.0069
Fuera de m. o.	a	18.06	38.73		Media	b	18.75	
					Punta	b	14.58	
Joven	a	45.83	50.18	0.0018	Base	a	38.54	0.1244
Madura	b	24.31	43.04		Media	ab	28.13	
Vieja	b	23.61	42.77		Punta	b	21.88	
Muestra 5 San Lorenzo Uruapan, bosque de pino								
Dentro de m. o.	a	100.00	0.00	0.0007	Base	a	86.11	0.2066
Fuera de m. o.	b	81.48	39.21		Media	a	97.22	
					Punta	a	88.89	

Joven	a	90.74	29.26	0.6811	Base	a	93.06	25.60	0.1819
Madura	a	90.74	29.12		Media	a	94.44	23.07	
Vieja	a	94.44	23.12		Punta	a	87.50	33.30	
Muestra 3 Ucasanastacua, Tzintunzan bosque de encino									
Dentro de m. o.	a	65.28	47.94	0.2050	Base	a	75.00	43.76	0.3612
Fuera de m. o.	a	75.00	43.61		Media	a	62.50	48.92	
					Punta	a	72.92	44.91	
Joven	a	76.39	42.77	0.6191	Base	a	73.96	44.12	0.7022
Madura	a	70.14	45.92		Media	a	68.75	46.59	
Vieja	a	70.83	45.77		Punta	a	72.92	44.67	
Muestra 2 Ucasanastacua, Tzintunzan. bosque de encino quercus									
Dentro de m. o.	a	72.22	45.10	0.5749	Base	a	75.00	43.76	0.7824
Fuera de m. o.	a	76.39	42.77		Media	a	77.08	42.47	
					Punta	a	70.83	45.93	
Joven	a	75.00	43.61	0.5600	Base	a	66.67	47.39	0.2296
Madura	a	74.31	43.85		Media	a	77.08	42.25	
Vieja	a	68.06	46.95		Punta	a	75.00	43.53	
Muestra 1 Ucasanastacua, Tzintunzan. bosque de encino									
Dentro de m. o.	a	69.44	46.39	0.0602	Base	a	83.33	37.66	0.0001
Fuera de m. o.	a	81.94	38.73		Media	b	54.17	50.35	
					Punta	a	89.58	30.87	
Joven	a	75.00	43.61	0.6477	Base	ab	75.00	43.53	0.0032
Madura	a	75.69	43.04		Media	b	67.71	47.00	

Vieja	a	80.56	39.85		Punta	a	87.50	33.25	
Muestra 4 San Lorenzo, Uruapan. bosque de pino									
Dentro de m. o.	a	46.30	50.33	0.1114	Base	ab	47.22	50.63	0.0185
Fuera de m. o.	a	61.11	49.21		Media	b	41.67	50.00	
					Punta	a	72.22	45.43	
Joven	a	59.26	49.60	0.7422	Base	ab	55.56	50.04	0.0254
Madura	a	53.70	50.10		Media	b	45.83	50.18	
Vieja	a	57.41	49.91		Punta	a	66.67	47.47	

Cuadro 3. Análisis de varianza y comparación de medias para la variable presencia de pelotones en raíces de la orquídea

Laelia autumnalis colectadas en siete sitios de estudio (m. o. = materia orgánica).

Tipo de raíz		Media	DS	Pr ≤ F	Sección	Media	DS	Pr ≤ F	
Muestra 6 San Lorenzo Uruapan Bosque de Pino									
Dentro de m. o.	a	18.06	38.73	0.677	Base	a	25.00	43.76	0.488
Fuera de m. o.	a	20.83	40.90		Media	a	16.67	37.66	
					Punta	a	16.67	37.66	
Joven	a	15.28	36.23	0.5627	Base	a	25.00	43.53	0.2131
Maduras	a	19.44	39.72		Media	a	15.63	36.50	
Viejas	a	22.22	41.87		Punta	a	16.67	37.46	
Muestra 2 San Lorenzo Uruapan Bosque de Pino-Encino									
Dentro de m. o.	a	48.611	50.33	0.0053	Base	a	43.75	50.13	0.3711
Fuera de m. o.	b	27.778	45.10		Media	a	39.583	49.42	

					Punta	a	31.25	46.84	
Joven	a	51.39	50.33	0.0957	Base	b	32.29	47.00	0.0007
Maduras	a	38.19	48.76		Media	a	52.08	50.22	
Viejas	a	36.11	48.37		Punta	ab	38.54	48.92	
Muestra 5 San Lorenzo Uruapan Bosque de Pino									
Dentro de m. o.	a	52.083	50.49	0.0064	Base	a	44.44	50.40	0.5993
Fuera de m. o.	b	25.926	44.23		Media	a	33.33	47.81	
					Punta	a	36.67	49.01	
Joven	a	59.26	49.60	0.0001	Base	a	40.28	49.39	0.3389
Maduras	b	38.24	48.84		Media	a	33.33	47.47	
Viejas	b	20.37	40.65		Punta	a	43.94	50.01	
Muestra 3 Ucasanastacua, Tzintunzan Bosque de Encino									
Dentro de m. o.	a	22.22	41.87	0.1808	Base	a	41.67	49.82	0.0100
Fuera de m. o.	a	31.94	46.95		Media	ab	25.00	43.76	
					Punta	b	14.58	35.67	
Joven	a	18.06	38.73	0.3019	Base	a	37.50	48.67	0.0005
Maduras	a	27.08	44.59		Media	b	20.83	40.82	
Viejas	a	22.22	41.87		Punta	b	12.50	33.25	
Muestra 2 Ucasanastacua, Tzintunzan. Bosque de Encino Quercus									
Dentro de m. o.	a	66.67	47.47	0.1945	Base	a	79.17	41.04	0.1017
Fuera de m. o.	a	76.39	42.77		Media	a	75.00	43.76	
					Punta	a	60.42	49.42	

Joven	a	65.28	47.94	0.0964	Base	a	68.75	46.59	0.9811
Maduras	a	71.53	45.29		Media	a	66.67	47.39	
Viejas	a	56.94	49.86		Punta	a	63.54	48.38	
Muestra 1 Ucasanastacua, Tzintunzan. Bosque de Encino									
Dentro de m. o.	a	55.56	50.04	0.0161	Base	a	45.83	50.35	0.2375
Fuera de m. o.	b	36.11	48.37		Media	a	54.17	50.35	
					Punta	a	37.50	48.92	
Joven	ab	38.89	49.09	0.0348	Base	a	35.42	48.08	0.4217
Maduras	a	45.83	50.00		Media	a	43.75	49.87	
Viejas	b	27.78	45.10		Punta	a	39.58	49.16	
Muestra 4 San Lorenzo, Uruapan. Bosque de Pino									
Dentro de m. o.	a	46.30	50.33	0.5412	Base	a	61.11	49.44	0.0064
Fuera de m. o.	a	40.74	49.60		Media	ab	44.44	50.40	
					Punta	b	25.00	43.92	
Joven	b	31.48	46.88	0.0015	Base	a	47.22	50.27	0.0685
Maduras	b	43.52	49.81		Media	a	40.28	49.39	
Viejas	a	62.96	48.74		Punta	a	48.61	50.33	

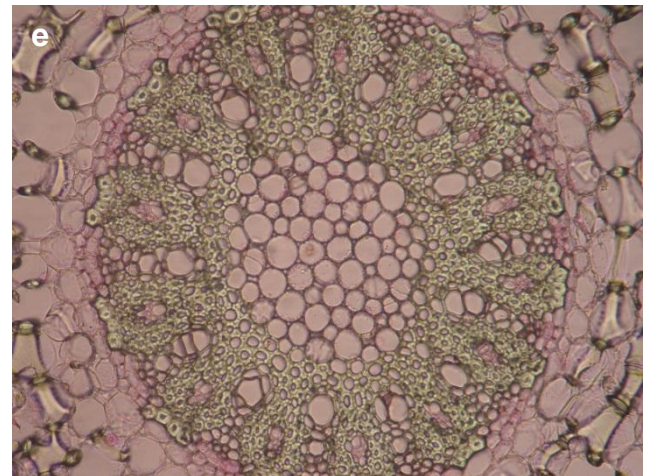
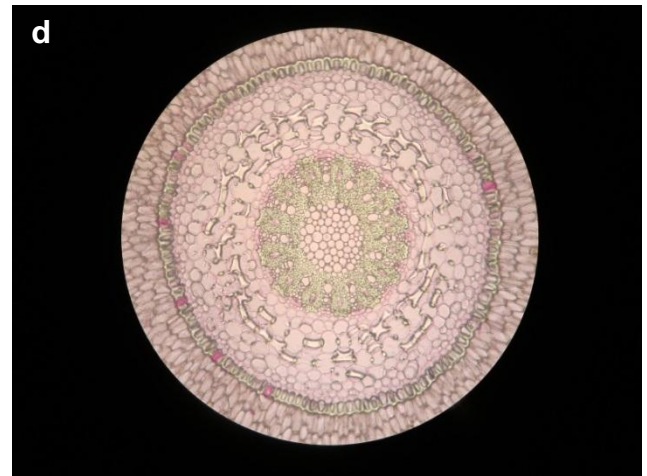


Figura 1. a) Planta de *Laelia autumnalis*, b) flor, c) tipo de raíces, d) corte trasversal en raíz, e) cilindro central sin presencia de pelotones, f) corte trasversal con presencia de pelotones.

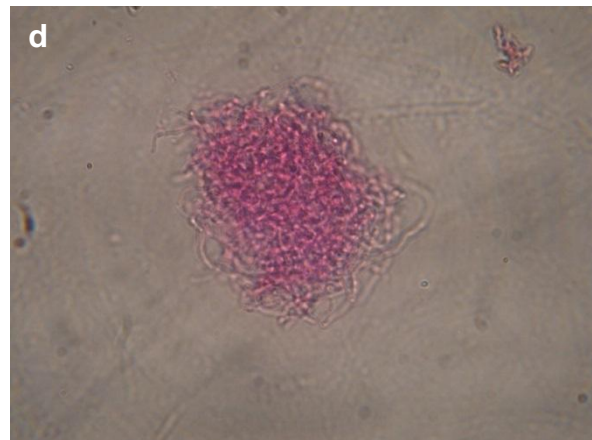
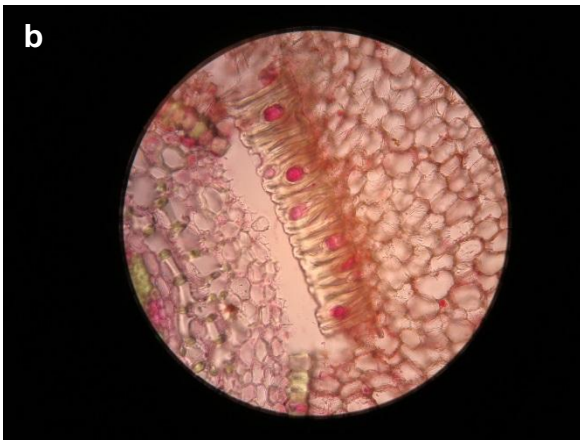
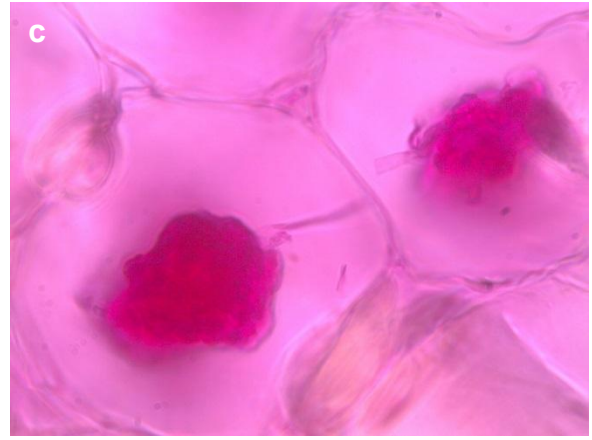
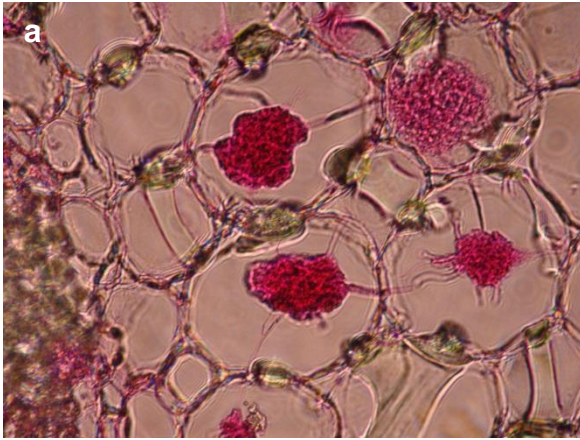


Figura 2. Colonización micorrízica en raíces de *Laelia autumnalis*. a) Pelotones teñidos con fucsina ácida en diferentes estados de digestión, b) pelotones en epidermis, c) acercamiento de pelotones a 100x, d) extracción de un pelotón.

CONCLUSIONES

Este trabajo refuerza otras investigaciones sobre la elevada colonización micorrízica en orquídeas epifitas. Se verificó además que la intensidad de colonización micorrízica estará influenciada por el contacto con el sustrato o materia orgánica, así como por la edad y área; ya sea basal, intermedia o apical.

LITERATURA CONSULTADA

Arditti J, and Ghani AKA. 2000. Tansley review: numerical and physical properties of orchid seeds and their biological implications. *New Phytologist* 145: 367-421.

Ávila, D. and K. Oyama. 2002. Manejo sustentable de *Laelia speciosa* (Orchidaceae). *Biodiversitas* 43:9-12.

Bermudes D. and Benzing D. H. 1989. Fungi in neotropical epiphyte roots. *BioSystems* 23:65-73.

Cruz-Blasí, J. 2007. Colonización micorrízica y diversidad de hongos micorrízicos de algunas especies de orquídeas epifitas tropicales en el Sureste de Chiapas, México. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 66p.

Hadley G and Williamson B. 1972. Features of mycorrhizal infections in some Malayan orchids. *New Phytologist* 71: 1111-1118.

Halbinger, F. 1993. *Laelias de México*. Asociación Mexicana de Orquideología. Mex. Orq. México. 72 p.

Halbinger, F. y Soto, M. 1997. Laelias of México. Herbario AMO. Revista Orquídea (Méx.). Vol 15. 15 p.

Lesica P. and Antibus R. K. 1990. The occurrence of mycorrhizae in vascular epiphytes of two Costa Rica rain forests. *Biotropica* 22:250-258.

Ortega-Larrocea M. P. Técnicas de estudio de las asociaciones micorrízicas y sus implicaciones en la restauración. *In: Propagación simbiótica de orquídeas terrestres con fines de restauración edafocológica*. Departamento de Edafología, Instituto de Geología, UNAM, México. 85-96 p.

Pereira O. L., Kasuya M. C. M., Rollemberg C. L., and Borges A. C. 2005. *In vitro* symbiotic seed germination of *Oncidium flexuosum* (Orchidaceae) by *Rhizoctonia*-like mycorrhizal fungi. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 29: 199-206.

Rasmunssen, N.H. 1995. Terrestrial orchids from seed to mycotrophic plant. Cambridge University Press, Cambridge.UK.

Rasmussen, H.N. and Whigham, D.F. 2002. Phenology of roots and mycorrhiza in orchid species differing in phototropic strategy. *New Phytologist* 154:797-807.

Smith, SE, Read DJ. 1997. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, London. 800 p.