



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO**

**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
BIOLÓGICAS**

ÁREA TEMÁTICA DE FISIOLÓGÍA Y GENÉTICA VEGETAL

**EFFECTO DEL FOTOPERÍODO Y EL ÁCIDO GIBERÉLICO SOBRE EL
DESARROLLO DE *Cymbidium* sp.**

ILTZE HERNÁNDEZ MURGUÍA

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

DIRECTORA DE TESIS

**DOCTORA EN CIENCIAS EN FISIOLÓGÍA VEGETAL
MARTHA ELENA PEDRAZA SANTOS**



Uruapan Michoacán, México. Marzo de 2017



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO**

**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
BIOLÓGICAS**

ÁREA TEMÁTICA DE FISIOLOGÍA Y GENÉTICA VEGETAL

**EFFECTO DEL FOTOPERÍODO Y EL ÁCIDO GIBERÉLICO SOBRE EL
DESARROLLO DE *Cymbidium* sp.**

ILTZE HERNÁNDEZ MURGUÍA

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

DIRECTORA DE TESIS

**DOCTORA EN CIENCIAS EN FISIOLOGÍA VEGETAL
MARTHA ELENA PEDRAZA SANTOS**

Uruapan Michoacán, México. Marzo de 2017



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas

DRA. LILIANA MÁRQUEZ BENAVIDES
COORDINADORA GENERAL DEL PROGRAMA INSTITUCIONAL DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
P R E S E N T E

Por este conducto nos permitimos comunicarle que después de haber revisado el manuscrito final de la Tesis Titulada: "Efecto del fotoperíodo y el ácido giberélico sobre el desarrollo de *Cymbidium* sp." presentado por la ING. Iltze Hernández Murguía, consideramos que reúne los requisitos suficientes para ser publicado y defendido en Examen de Grado de Maestra en Ciencias.

Sin otro particular por el momento, reiteramos a usted un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E

Morelia, Michoacán, a 02 de marzo de 2017

MIEMBROS DE LA COMISIÓN REVISORA

Martha E. Pedraza S.

Dr. Martha Elena Pedraza Santos
Directora de Tesis

Blanca Nieves Lara Chávez

Dra. Ma. Blanca Nieves Lara Chávez

José Luciano Morales García

Dr. José Luciano Morales García

Ana Tzitzqui Chávez Bárcenas

Dra. Ana Tzitzqui Chávez Bárcenas

Nicolás Gutiérrez Rangel

Dr. Nicolás Gutiérrez Rangel

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional De Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico para mis estudios.

Al laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales y al invernadero de Orquídeas Nativas de México de la Facultad de Agrobiología, por el espacio para la realización del experimento.

A la Dra. Martha Elena Pedraza Santos, por sus enseñanzas y el apoyo durante mi formación académica.

A los Dres. Ana Tztzqui Chávez Bárcenas, Ma. Blanca Nieves Lara Chávez, Martha Elena Pedraza Santos, José Luciano Morales García y Nicolás Gutiérrez Rangel, les agradezco por todo el apoyo en esta investigación.

A mi esposo Francisco Javier y a mi hijo Iker Elián porque sin su apoyo no habría sido posible esta investigación.

A mis compañeros de maestría y de laboratorio por los buenos momentos que compartimo

DEDICATORIA

A mi esposo Francisco Javier Valencia Tapia con todo mi amor, porque siempre me motivas a ser una mejor persona y por siempre estar a mi lado. ¡Te amo!

A mi hijo Iker Elián, por ser mi motivo de superación cada día.

A mis padres María Lourdes Murguía Dávalos y Eliseo Hernández Aguilera, por sus consejos y su apoyo en todo momento. ¡Es un orgullo ser su hija!

A Cintya, Antonio, Betsy y Ashley por todos los momentos bonitos que hemos compartido.

Iltze Hernández

CONTENIDO

| | Página |
|--|-----------|
| ÍNDICE DE CUADROS..... | iv |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | vi |
| RESUMEN GENERAL..... | ix |
| GENERAL ABSTRACT..... | x |
| | |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL..... | 1 |
| 1. Justificación e importancia del trabajo..... | 1 |
| 2. Objetivos..... | 3 |
| 2.1. General..... | 3 |
| 2.2. Particulares..... | 3 |
| 3. Hipótesis..... | 3 |
| 4. Revisión de Literatura..... | 4 |
| 4.1 Importancia comercial de las orquídeas..... | 4 |
| 4.2. Cultivo del género <i>Cymbidium</i> | 5 |
| 4.3. Inducción floral..... | 7 |
| 4.3.1. Espectro electromagnético y fotorreceptores..... | 9 |
| 4.3.2. Fotoperíodo..... | 12 |
| 4.3.3. Uso de giberelinas en la inducción floral..... | 13 |
| 4.4 Inducción floral en orquídeas..... | 14 |
| 5. Literatura citada..... | 20 |
| | |
| CAPÍTULO II. EFECTO DEL ÁCIDO GIBERÉLICO EN EL DESARROLLO | |
| DE <i>Cymbidium</i> sp..... | 27 |
| RESUMEN..... | 27 |
| ABSTRACT..... | 28 |
| I. Introducción..... | 29 |
| II. Materiales y métodos..... | 31 |
| 2.1. Localización del sitio experimental..... | 31 |
| 2.2. Material vegetal..... | 31 |
| 2.3. Establecimiento y manejo experimental..... | 31 |

| | | |
|------|------------------------------------|----|
| 2.4. | Variables a evaluadas..... | 33 |
| 2.5. | Análisis estadístico de datos..... | 33 |
| III. | Resultados y discusión..... | 35 |
| 3.1. | Primer ensayo..... | 35 |
| 3.2. | Segundo ensayo..... | 44 |
| 3.3. | Tercer ensayo..... | 53 |
| 3.4. | Cuarto ensayo..... | 57 |
| IV. | Conclusiones..... | 67 |
| V. | Literatura citada..... | 68 |

**CAPÍTULO III. EL FOTOPERÍODO Y EL ÁCIDO GIBERÉLICO EN LA
INDUCCIÓN FLORAL DE *Cymbidium* sp.....**

| | | |
|--------|--|-----|
| | | 71 |
| | RESUMEN..... | 71 |
| | ABSTRACT..... | 73 |
| I. | Introducción..... | 74 |
| II. | Materiales y métodos..... | 77 |
| 2.1. | Localización del sitio experimental..... | 77 |
| 2.2. | Material Vegetal..... | 77 |
| 2.3. | Ensayos realizados..... | 77 |
| 2.3.1. | Primer ensayo..... | 77 |
| 2.3.2. | Segundo ensayo..... | 77 |
| 2.3.3. | Tercer ensayo..... | 78 |
| 2.4. | Variables evaluadas..... | 80 |
| 2.5. | Análisis estadístico de datos..... | 81 |
| III. | Resultados y discusión..... | 83 |
| 3.1. | Primer ensayo..... | 83 |
| 3.2. | Segundo ensayo..... | 84 |
| 3.3. | Tercer ensayo..... | 85 |
| 3.3.1. | Floración..... | 95 |
| IV. | Conclusiones..... | 100 |
| V. | Literatura citada..... | 101 |

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro **Página**

CAPÍTULO I

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Principales efectos que producen en las plantas las longitudes de ondas del espectro electromagnético y los fotorreceptores involucrados en su detección | 11 |
| 2 | Factores que afectan el desarrollo vegetativo y la inducción floral en algunas orquídeas | 15 |
| 3 | Factores que afectan la inducción floral de algunas variedades comerciales de orquídeas | 16 |
| 4 | Inducción floral por ácido giberélico de algunas variedades comerciales de orquídeas | 19 |

CAPÍTULO II

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Análisis de varianza para el efecto de la dosis de ácido giberélico sobre el número de hojas y pseudobulbos dañados de plantas de <i>Cymbidium</i> sp. a los 8 días después de la aplicación. | 35 |
| 2 | Cuadrados medios de los análisis de varianza combinados (cuatro tratamientos y tres fechas de medición) realizados para el primer ensayo con niveles de AG ₃ en el desarrollo de <i>Cymbidium</i> sp. | 38 |
| 3 | Cuadrados medios de los análisis de varianza combinados (tres tratamientos, tres aplicaciones y tres fechas de medición) realizados para el segundo ensayo. | 45 |
| 4 | Cuadrados medios de los análisis de varianza combinados (cuatro tratamientos y dos fechas de medición) realizados para el tercer ensayo. | 54 |

| Cuadro | | Página |
|---------------|--|---------------|
| 5 | Cuadrados medios de los análisis de varianza combinados (cuatro tratamientos y dos fechas de medición) realizados para el cuarto ensayo. | 58 |

CAPÍTULO III

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Relación de tratamientos a los que se expusieron las plantas de <i>Cymbidium</i> sp. para estudiar el efecto del fotoperíodo y el ácido giberélico (AG ₃). | 79 |
| 2 | Cuadrados medios del análisis de varianza para el efecto de la concentración y el número de aplicaciones de ácido giberélico (AG ₃) sobre la floración en <i>Cymbidium</i> sp. a los 120 días después de la aplicación. | 83 |
| 3 | Cuadrados medios de los análisis de varianza combinados (cuatro tratamientos y dos fechas de medición) realizados para el segundo ensayo. | 84 |
| 4 | Cuadrados medios de los análisis de varianza combinados (cuatro tratamientos de fotoperíodo, cuatro tratamientos de ácido giberélico y dos fechas de medición) realizados para el tercer ensayo. | 86 |

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura **Página**

CAPÍTULO I

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Ciclo fenológico de <i>Cymbidium</i> . | 7 |
| 2 | Principales rutas florales en las plantas. | 9 |
| 3 | Características espectrales de la radiación solar que llega a nivel de la biosfera de la tierra. | 10 |

CAPÍTULO II

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Algunos detalles experimentales | 34 |
| 2 | Efectos tóxicos en hojas y pseudobulbos de <i>Cymbidium</i> sp. por aplicaciones de ácido giberélico (AG ₃). | 36 |
| 3 | Plantas de <i>Cymbidium</i> sp. con efectos fitotóxicos | 36 |
| 4 | Efecto de la fecha de medición en el número de pseudobulbos (A), número de hojas por pseudobulbo (B), longitud del pseudobulbo (C), número de brotes (D), número de hojas por brote (E) y longitud de la hoja (F) en plantas de <i>Cymbidium</i> sp. del primer ensayo; 8, 30 y 565 días después de su establecimiento. | 40 |
| 5 | Efecto de la fecha de medición en el ancho de la hoja (A) y lecturas SPAD (B) en plantas de <i>Cymbidium</i> sp. del primer ensayo, después de la aplicación de ácido giberélico (AG ₃). | 41 |
| 6 | Efecto de la concentración de ácido giberélico (AG ₃) en el diámetro de pseudobulbos de <i>Cymbidium</i> sp. del primer ensayo. | 42 |
| 7 | Longitud del pseudobulbo de plantas de <i>Cymbidium</i> sp. por efecto de la concentración de ácido giberélico (AG ₃) en el primer ensayo. | 42 |

| | | |
|----|--|----|
| 8 | Efecto de la concentración de ácido giberélico (AG ₃) sobre el número de hojas por pseudobulbo en plantas de <i>Cymbidium</i> sp. del primer ensayo. | 43 |
| 9 | Efecto de la concentración de ácido giberélico (AG ₃) sobre el ancho de la hoja de plantas de <i>Cymbidium</i> sp. del primer ensayo. | 44 |
| 10 | Efecto de la fecha de medición en el número de pseudobulbos (A), número de brotes (B), longitud de la hoja (C) y valor de las lecturas SPAD (D) en plantas de <i>Cymbidium</i> sp. del segundo ensayo; 8, 30 y 60 y 90 días después de su establecimiento. | 47 |
| 11 | Efecto de la concentración de ácido giberélico (AG ₃) en plantas de <i>Cymbidium</i> sp. del segundo ensayo sobre la longitud (A) y el diámetro del pseudobulbo (B). | 48 |
| 12 | Respuesta la longitud de la hoja en plantas de <i>Cymbidium</i> sp. del segundo ensayo al número de aplicaciones de ácido giberélico (AG ₃). | 48 |
| 13 | Interacción AG ₃ *NA (ácido giberélico y número de aplicaciones) en el número de brotes de plantas de <i>Cymbidium</i> sp. del segundo ensayo. | 49 |
| 14 | Interacción AG ₃ *NA (número de aplicaciones) en el ancho de la hoja de plantas de <i>Cymbidium</i> sp. del segundo ensayo. | 50 |
| 15 | Interacción AG ₃ *NA (ácido giberélico y número de aplicaciones) en el ancho de la hoja del brote en plantas de <i>Cymbidium</i> sp. del segundo ensayo. | 51 |
| 16 | Interacciones AG ₃ *NA (número de aplicaciones) (A) y de AG ₃ *FM (fecha de medición (B) en el número de hojas por brote de plantas de <i>Cymbidium</i> sp. del segundo ensayo. | 52 |
| 17 | Número de hojas por brote en plantas de <i>Cymbidium</i> sp. a los 30 y 60 días después de la aplicación de ácido giberélico (AG ₃). | 55 |
| 18 | Longitud de pseudobulbo por la influencia de la concentración de ácido giberélico (AG ₃) en el tercer ensayo. | 56 |

| | | |
|----|--|----|
| 19 | Influencia de la concentración de ácido giberélico (AG ₃) sobre el número de brotes de plantas de <i>Cymbidium</i> sp. en el tercer ensayo. | 56 |
| 20 | Efecto de las concentraciones de ácido giberélico (AG ₃) en plantas de <i>Cymbidium</i> sp. sobre A) el número de hojas por brote y B) ancho de la hoja del brote en el tercer ensayo. | 57 |
| 21 | Dinámica de la formación de pseudobulbos, brotes y hojas en plantas de <i>Cymbidium</i> sp. después de la aplicación de ácido giberélico (AG ₃) en el cuarto ensayo. | 60 |
| 22 | Efecto de las diferentes concentraciones de ácido giberélico (AG ₃) sobre el número de pseudobulbos en plantas de <i>Cymbidium</i> sp. del cuarto ensayo. | 61 |
| 23 | Respuesta de las diferentes concentraciones de AG ₃ sobre el número de hojas por pseudobulbo de plantas de <i>Cymbidium</i> sp. del cuarto ensayo. | 62 |
| 24 | Efecto del ácido giberélico (AG ₃) en la longitud de la hoja de plantas de <i>Cymbidium</i> sp. del cuarto ensayo. | 63 |
| 25 | Influencia de las diferentes concentraciones de ácido giberélico (AG ₃) sobre el número de brotes en plantas de <i>Cymbidium</i> sp. del cuarto ensayo. | 65 |
| 26 | Lecturas SPAD en relación a las diferentes dosis de ácido giberélico (AG ₃) en plantas de <i>Cymbidium</i> sp. del cuarto ensayo. | 66 |

Figura

Página

CAPÍTULO III

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Órganos de <i>Cymbidium</i> sp. donde se evaluaron: A) Escapo floral, B) longitud, diámetro y número de nudos en escapos florales, C) longitud y diámetro de la flor, D) inflorescencia y el número de sus flores | 82 |
|---|---|----|

| | | |
|----|---|----|
| 2 | Efecto de la concentración de ácido giberélico sobre el número de pseudobulbos de <i>Cymbidium</i> sp. | 87 |
| 3 | Efecto de la concentración de ácido giberélico (AG ₃) sobre el número de hojas por pseudobulbo en plantas adultas de <i>Cymbidium</i> sp. | 88 |
| 4 | Efecto del tipo de fotoperíodo y la concentración de ácido giberélico sobre la longitud del pseudobulbo en <i>Cymbidium</i> sp. | 90 |
| 5 | Diámetro del pseudobulbo en plantas adultas de <i>Cymbidium</i> sp. A) tipo de fotoperíodo y B) concentración de AG ₃ | 91 |
| 6 | Influencia del fotoperíodo sobre el número de brotes en plantas de <i>Cymbidium</i> sp. | 92 |
| 7 | Influencia del tipo de fotoperíodo sobre el número de hojas por brote de plantas de <i>Cymbidium</i> sp. | 93 |
| 8 | Numero de escapos de plantas de <i>Cymbidium</i> sp. por efecto de A) fecha de muestreo y B) tipo de fotoperíodo | 94 |
| 9 | Efecto del fotoperíodo y la concentración de ácido giberélico (AG ₃) sobre las lecturas SPAD en hojas de <i>Cymbidium</i> sp. | 95 |
| 10 | Efecto del fotoperíodo y la aplicación de ácido giberélico (AG ₃) sobre el número de plantas que presentaron floración | 96 |
| 11 | Número de inflorescencias de <i>Cymbidium</i> sp. en relación al tipo de fotoperíodo. | 97 |
| 12 | Diámetro del escapo floral en plantas de <i>Cymbidium</i> sp. en relación al tipo de fotoperíodo | 98 |
| 13 | Longitud de la inflorescencia de plantas de <i>Cymbidium</i> sp. en función de la concentración de ácido giberélico (AG ₃) aplicado | 99 |

RESUMEN GENERAL

El desarrollo y la inducción floral de orquídeas depende de factores como la temperatura, la irradiación, el suministro de agua y las hormonas presentes en la planta. La presente investigación consta de tres partes, en el Capítulo I se aborda la problemática del cultivo del género *Cymbidium*. En el capítulo II se identificó la acción del ácido giberélico en el desarrollo de plantas de *Cymbidium* sp. en etapa juvenil. Se establecieron tres concentraciones de AG₃ (5, 125 y 250 mg L⁻¹) y un testigo. 5 mg L⁻¹ de ácido giberélico incrementó 57 % el número de pseudobulbos y su número de hojas (1 hoja más), la longitud de la hoja se incrementó 9 % con relación al tratamiento testigo, el número de brotes con la dosis de 125 mg L⁻¹ se incrementó al doble respecto al testigo. En el tercer Capítulo se estudió el efecto del fotoperíodo y el ácido giberélico (AG₃) sobre el desarrollo y la inducción floral de plantas adultas de *Cymbidium* sp. Se establecieron 16 tratamientos originados a partir de un diseño de tratamientos factorial 4 x 4 con cuatro tipos de fotoperíodo (fotoperíodo natural con 13 h de luz y 11 h de oscuridad (FNSI), y fotoperíodo de 9 h luz y 15 h de oscuridad (FMSI), con y sin interrupción de la noche (FNCI y FMCI, respectivamente) y cuatro concentraciones de AG₃ (0, 5, 125 y 250 mg L⁻¹). El fotoperíodo FMCI promueve el crecimiento vegetativo al incrementar el número de pseudobulbos y de brotes y sus hojas. Además en relación a la floración, aumentó el número de escapes, inflorescencias y el diámetro del escapo floral. La concentración de 125 mg L⁻¹ estimuló el crecimiento de *Cymbidium* sp., al aumentar el número de pseudobulbos, su diámetro y sus hojas. La interacción entre el tipo de fotoperíodo y las diferentes concentraciones de AG₃ influyó significativamente en la longitud del pseudobulbo y las lecturas SPAD.

Palabras clave: Desarrollo vegetativo, fitohormonas, fotoperíodo, inducción floral, orquídeas.

GENERAL ABSTRACT

The development and floral difference between orchids may depend on various factors as the photoperiod, the light intensity, the temperature, watering and the phytohormones. The present investigation consists of three parts, in Chapter I the problem of the cultivation of the genus *Cymbidium* is addressed. In chapter II identify the influence of gibberellic acid (GA₃) in the growth of young plants of *Cymbidium* sp. The treatment consisted in three concentrations of GA₃ (5, 125 and 150 mg L⁻¹) and a witness. The 5 mg L⁻¹ concentration of GA₃ increased 57 % the pseudobulbs and leaves number (a extra leaf), the length of the leaf increased 9 % according to the witness treatment, the sprout number with the use of 125 mg L⁻¹ concentration of GA₃ the increase was the double according to the witness. The SPAD readings decreased 13 % when the 5 mg L⁻¹ was applied in comparison with the witness. In the third chapter, the photoperiod and the GA₃ effect were studied according to the influence that these can have over the growth process and floral induction in older plants of *Cymbidium* sp. There were 16 treatments established and originated from a single factorial design of treatments 4x4 with four kinds of photoperiod (natural period with 13 h of light and 11 h of darkness (FNSI) and a photoperiod of 9 h of light and 15 h of darkness (FMSI), with and without interruption during the night time (FNCI) and (FMCI) respectively) and four GA₃ concentrations (0, 5, 125 and 250 mg L⁻¹). The FMCI photoperiod promotes vegetative growth by increasing the number of pseudobulbs and shoots and their leaves. Also in relation to the flowering, the number of scapes, inflorescences and the diameter of the floral scape increased. The concentration of 125 mg L⁻¹ stimulated the growth of *Cymbidium* sp., by increasing the number of pseudobulbs, their diameter and leaves. The interaction between the photoperiod type and the different concentrations of AG₃ significantly influenced the length of the pseudobulb and the SPAD readings.

Key words: Vegetative development, phytohormones, photoperiod, floral induction, orchids.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

1. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL TRABAJO

A pesar de la diversidad de orquídeas en la naturaleza, sólo un pequeño número de géneros se cultivan en cantidades grandes, entre ellas *Cymbidium*, *Phalaenopsis*, *Oncidium*, y *Dendrobium* (An *et al.*, 2012). Estas orquídeas se comercializan como ramilletes florales para muñeca, a manera de pulsera o brazalete (corsage), en arreglos florales comunes o pequeños (bouquets) y como plantas en maceta (López y Runkle, 2006), principalmente en fechas como Año Nuevo, Día de San Valentín y Día de las Madres, entre otros (Wu y Chang, 2009).

La orquídea *Cymbidium*, es considerada como una de las flores de maceta más importantes nivel mundial, tiene un potencial ornamental con valor económico alto debido a que su demanda ha crecido en las últimas décadas tanto en diversidad de especies como en producción de flores (Huang *et al.*, 2011). Sin embargo, tiene los inconvenientes de que las plantas crecen muy lentamente, tienen un período juvenil largo (An *et al.*, 2012) y florecen sólo una vez al año.

La floración natural de las orquídeas es estacionaria y en muchos de los casos no coincide con las fechas importantes de comercialización. Este proceso probablemente depende de algunos factores como el fotoperíodo, la intensidad luminosa, la temperatura, suministro de agua y las hormonas presentes en la planta, entre otros (Matsumoto, 2006).

El fotoperíodo se ha estudiado en géneros como *Cattleya*, en el cual se demostró que las plantas responden a días cortos para inducir el crecimiento vegetativo y la iniciación floral.

En *Dendrobium* no se obtuvieron resultados en cuanto a crecimiento vegetativo, pero la iniciación floral también se indujo con días cortos. En los géneros *Miltoniopsis* y *Zigopetalum* el crecimiento vegetativo se promueve con días largos y la iniciación floral se induce con días cortos (López y Runkle, 2005). En Hwasung, Republica de Korea se expusieron plantas del género *Cymbidium* a una relación 9:15 de h de luz ambiente: oscuridad, con y sin interrupción de la noche; con la totalidad de las plantas sometidas al tratamiento con interrupción fueron inducidas a florecer (Kim *et al.*, 2011).

Además del fotoperíodo, la inducción floral depende también de otros factores, entre ellas algunos fitorreguladores como las giberelinas. En *Miltoniopsis* (Matsumoto, 2006) y *Brassocattleya* “Marcella Koss” (Cardoso *et al.*, 2010) se encontró que aplicaciones de ácido giberélico promovieron floraciones tempranas e incrementaron el número de inflorescencias, así como el número y el tamaño de las flores.

En México el género *Cymbidium* se cultiva principalmente en los estados de Veracruz, Estado de México, Chiapas y Michoacán; se comercializa principalmente como flor de corte por sus características de tamaño, color, la forma, la cantidad y la longevidad de sus flores; sin embargo, su comercialización es muy baja porque sólo se obtiene una floración al año y ésta es muy poco predecible. Por ello, es importante conocer el manejo de los factores que promueven la inducción floral en *Cymbidium* sp. para disminuir el tiempo de cultivo e incrementar la floración de esta orquídea en la región de Uruapan Michoacán.

2. OBJETIVOS

2.1. General

Estudiar la influencia del fotoperíodo y la concentración de ácido giberélico en el desarrollo vegetativo y la inducción floral de la orquídea *Cymbidium* sp., en dos etapas de desarrollo.

2.2. Particulares

- Estudiar el efecto del fotoperíodo y el ácido giberélico en la inducción floral de plantas adultas de *Cymbidium* sp.
- Medir la acción del ácido giberélico en el desarrollo de plantas de *Cymbidium* sp. en etapa juvenil.

3. HIPÓTESIS

- La floración temprana de plantas adultas de *Cymbidium* sp. puede promoverse mediante el control del fotoperíodo y la aplicación de ácido giberélico.
- La aplicación de ácido giberélico estimula el desarrollo de plantas de *Cymbidium* sp. en etapa juvenil.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Importancia comercial de las orquídeas como plantas ornamentales

En los últimos años la economía de muchos países, principalmente europeos, está basada en la comercialización de plantas ornamentales (Jiménez, 2013). La comercialización de especies de ornato para flor de corte se determina por el tamaño del tallo, la forma, el color, la calidad sanitaria y la duración poscosecha de las flores. Para lograr la calidad de flor que exige el mercado es necesario tener un buen manejo durante el periodo de producción el cual consiste en la nutrición de acuerdo al tipo de flor, el control eficiente de plagas y enfermedades y el control de las condiciones climáticas (Cruz y Arévalo, 2006).

Las orquídeas son de las flores que tienen mayor preferencia como plantas de ornato, debido a su rareza, vistosos colores, aromas y formas de sus flores. Actualmente existen cientos de miles de híbridos y el número sigue creciendo, como resultado de la intensa actividad de hibridación desplegada por cultivadores profesionales y aficionados (Murguía y Lee, 2007). Estas son plantas con cualidades especiales, algunas veces tienen mejor resistencia a plagas y enfermedades, toleran diferentes condiciones de cultivo, pueden presentar colores o formas nuevos. Sin embargo, el sistema tecnológico de producción de las principales especies híbridas comerciales se desconoce y como algunas de las especies ornamentales, también requieren condiciones ambientales específicas por lo que es necesario recurrir a la producción bajo sistemas protegidos como casas sombra e invernadero (Cruz y Arévalo, 2006).

4.2 Cultivo del género *Cymbidium*

Cymbidium es una orquídea terrestre popularmente vendida como flor de corte y plantas de maceta. Son plantas perennifolias con grandes inflorescencias de donde brotan las flores llevadas por breves peciolos; las flores son color verde, rosa, amarillo o blanco. Las hojas están provistas por una sola nervadura central y pueden alcanzar hasta 1 m de largo en las especies más grandes y crecen de cinco hasta 15 por pseudobulbo y por lo general persisten de dos a cuatro años. Los pseudobulbos quedan revestidos por las vainas foliares de las hojas, dispuestos uno contra los otros a nivel del suelo y unidos entre ellos por cortos rizomas subterráneos, su hábito de crecimiento es simpodial. Las raíces parten de la zona inferior de los pseudobulbos y son carnosas y algo ramificadas de hasta 8 mm de diámetro, revestidas por un velamen blanquecino-grisáceo y tienen un núcleo de tejido vascular (García *et al.*, 2013).

Las plantas del género *Cymbidium* suelen tener una o dos inflorescencias en la base del último pseudobulbo maduro. Las flores son generalmente de entre 3 y 10 cm de diámetro. El número de flores varía desde una en *C. goeringii* var. *goeringii* y *C. eburneum*, hasta alrededor de 50 en *C. canaliculatum* y *C. suavissimum* (Du Puy y Cribb, 2007).

Cada flor tiene un ovario inferior y un pedicelo corto que son difíciles de delimitar el uno del otro, y esta subtendido por una pequeña bráctea. La flor está compuesta por un pétalo dorsal, dos sépalos laterales, dos pétalos, un labelo y una columna central.

La mayoría de las orquídeas de este género, incluidos sus híbridos prefieren lugares frescos o en condiciones controladas; a finales de verano y principios de otoño, requieren temperaturas más bajas en la noche, para iniciar la formación de flores (Du Puy y Cribb, 2007).

El tiempo de aparición del pseudobulbo determina el tiempo de la nueva floración y el número de días a floración. La inflorescencia se caracteriza porque inicia bajo días largos naturales (> 16 h luz y 8 h de oscuridad) y temperatura baja (< 25 °C) condiciones después del final del crecimiento juvenil; se requieren al menos 5 años desde la siembra hasta el desarrollo de flores, incluyendo de 3-4 años de la etapa juvenil (Kim *et al.*, 2011).

Un crecimiento juvenil vigoroso es necesario para mejorar la calidad de la plantas de orquídeas (Hew y Yong, 2004). El estudio del ciclo fenológico de una orquídea es una manera de determinar el comienzo de la iniciación floral; En la Figura 1 se describe el ciclo fenológico de *Cymbidium*. La habilidad de predecir y manipular el ciclo fenológico de una planta es la base de una producción eficiente de flores mediante el manejo de los factores involucrados en la transición de la etapa vegetativa a la etapa reproductiva (Steinfort *et al.*, 2012).

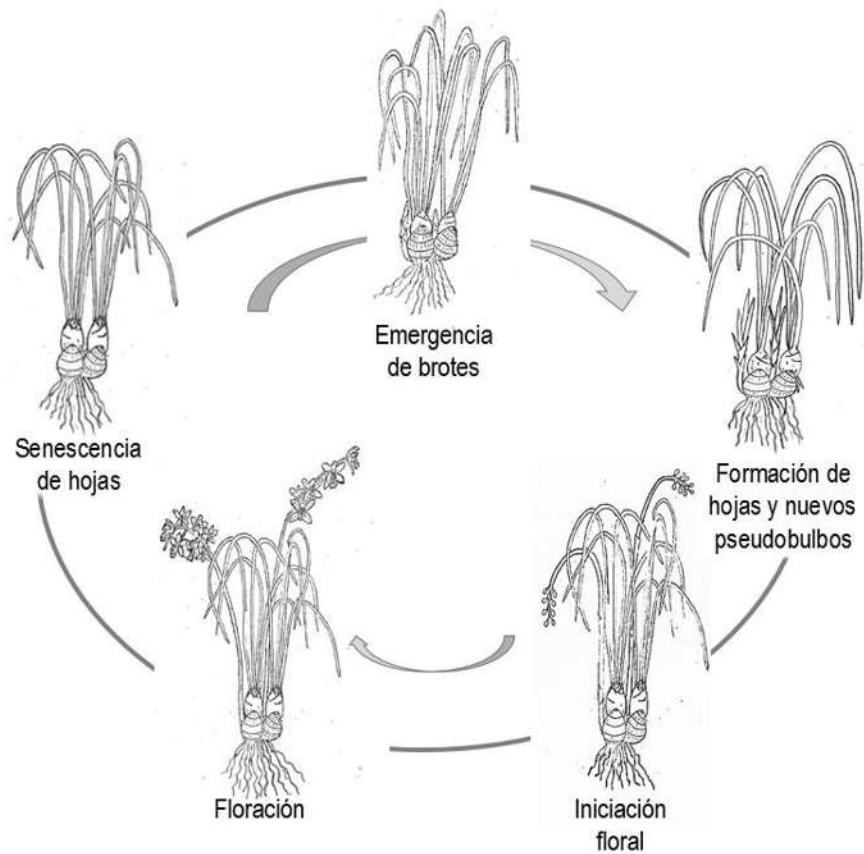


Figura 1. Ciclo fenológico de *Cymbidium*. (Cortesía de J. A. Gudiño)

4.3 Inducción floral

Como en la mayoría de las angiospermas, la floración en las orquídeas se basa en el desarrollo competente de una planta para percibir señales del medio ambiente que promueven la transición del crecimiento vegetativo al reproductivo (Kim *et al.*, 2011). Estas señales ambientales pueden provocar la síntesis de un estímulo floral que es transportado a través de los tejidos vasculares al meristemo apical del brote y subsecuentemente induce la iniciación floral (Blanchard y Runkle, 2008).

Las señales ambientales como la longitud del periodo de luz de los días y la temperatura y los factores endógenos, como el estado nutricional y ciertas hormonas, activan cascadas de señalización particulares que acaban convergiendo en ciertos genes clave que integran información de distinta naturaleza y éstos se encargan de poner en marcha los grupos de genes ABC responsables del desarrollo de la flor; con relación a estas señales inductoras se pueden definir esencialmente tres rutas de señalización.

- a) Ruta dependiente del fotoperíodo. La longitud de los días se percibe a través de un mecanismo en el que participan los fotorreceptores y el reloj circadiano; ello permite que la proteína CONSTANS (CO) active a sus dianas *FT* y *SOC1* sólo cuando los días se alargan (Figura 1).
- b) Ruta dependiente de la temperatura. Por una parte, la exposición transitoria a temperaturas próximas a la congelación —que indica que ha pasado el invierno— es necesaria para que los genes *VRN* silencien a *FLC*, un represor de la floración que impide que se active *FT*. Antes del invierno, el gen *FRI* hace aumentar la expresión de *FLC* y evita la floración. Por otra parte, el aumento paulatino de la temperatura cuando se acerca la primavera es percibido como una señal para que *FCA* inhiba también a *FLC* y se facilite así la activación de *FT* por parte de CO. De esta manera, *FT* se comporta como un integrador que se activa únicamente cuando las condiciones de luz y temperatura son propicias. Su función principal es conseguir que los genes *APETALA 1 (AP1)* y *LEAFY (LFY)* se expresen por encima de cierto nivel umbral y se inicie el desarrollo floral.
- c) Ruta dependiente de factores endógenos. El gen *LEAFY*, por su parte, también actúa como integrador de factores endógenos, como los que determinan el estado nutricional (en función de la sacarosa circulante por el floema) y otros factores

endógenos de la planta (mediados por el contenido de las hormonas giberelinas) (Figura 2).

La decisión irreversible de florecer depende de un mecanismo de acumulación progresiva de los integradores florales, que solo cuando superan cierto nivel umbral pueden activar el programa de desarrollo floral (Blázquez *et al.*, 2011).

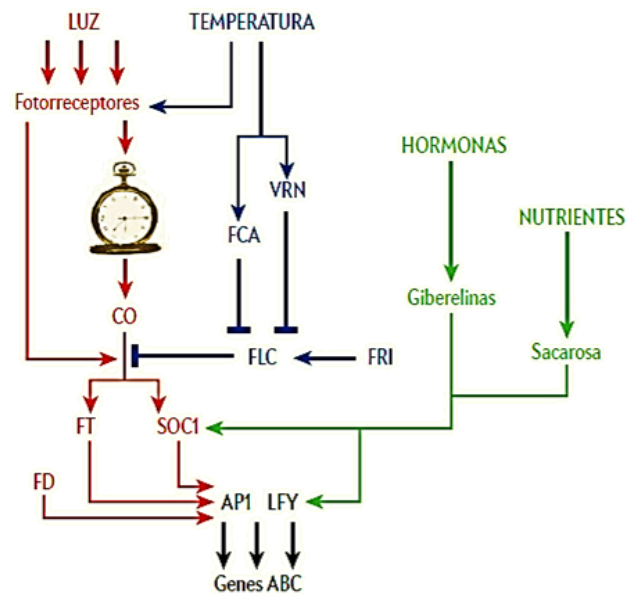


Figura 2. Principales rutas florales en las plantas (las líneas terminadas en una flecha indican un efecto promotor, mientras que las terminadas en una barra, un efecto inhibitorio) (Blázquez *et al.*, 2011).

4.3.1 Espectro electromagnético y fotorreceptores

La luz visible se ubica en una región pequeña del espectro electromagnético que comprende entre los 400 y 700 nm y se conoce como radiación fotosintéticamente activa

(PAR). Las plantas utilizan esta radiación para llevar a cabo el proceso fotosintético, además de detectar cambios en la dirección, duración, cantidad y calidad de la radiación incidente para poderse adaptar y aprovechar la luz (Figura 3) (Torres *et al.*, 2012).

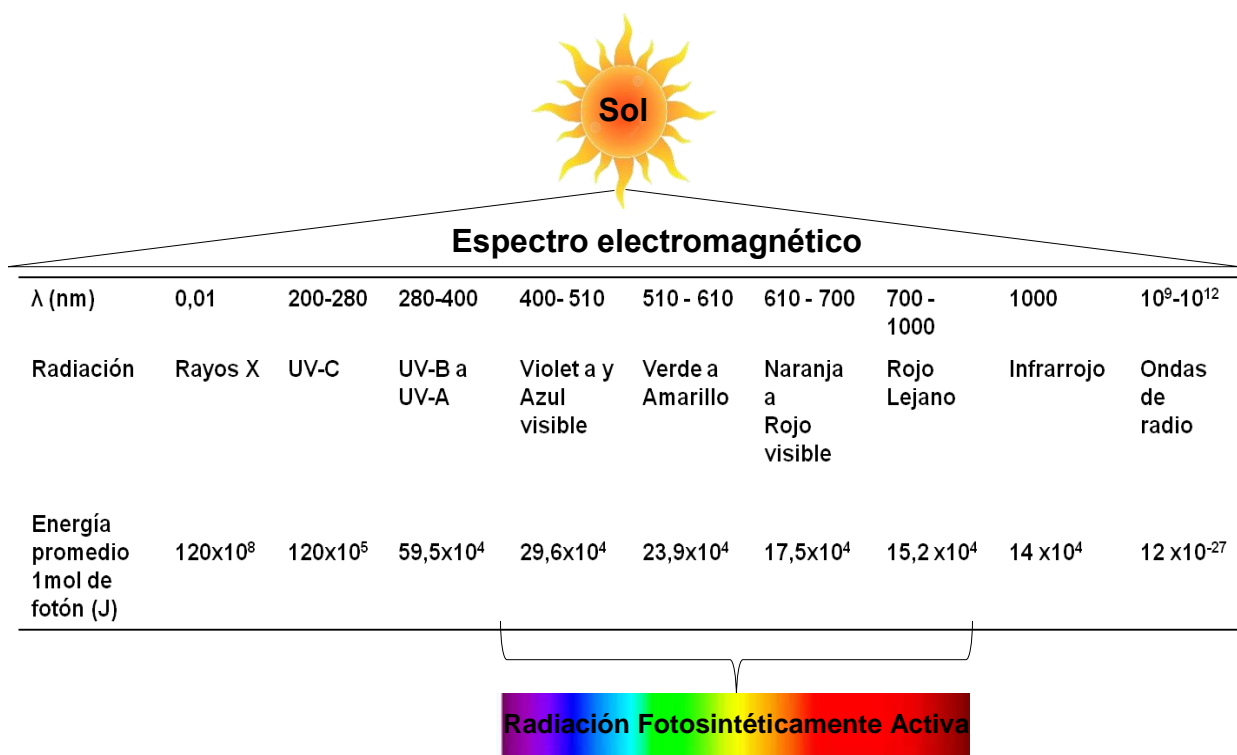


Figura 3. Características espectrales de la radiación solar que llega a nivel de la biosfera de la tierra (adaptado de Torres *et al.*, 2012).

La luz actúa como una señal de las condiciones ambientales que rodean la planta. De esta manera, las plantas pueden detectar señales o estímulos lumínicos y en consecuencia adaptan sus propios procesos, desde el momento de la germinación hasta la desetiación, y el fototropismo o la floración. El conjunto de respuestas que afectan al desarrollo y aspecto de la planta en función de la luz se conoce como “fotomorfogénesis” (Cuadro 1) (Martínez *et al.*, 2002).

Cuadro 1. Principales efectos que producen en las plantas las longitudes de ondas del espectro electromagnético y los fotorreceptores involucrados en su detección.

| Radiación | λ nm | Fotorreceptor y otras moléculas que absorben la energía lumínica | Acciones y efectos |
|---------------------------------|--------------|---|--|
| UV-C | <280 | DNA – RNA | Mutaciones, daño y muerte celular |
| UV-B/UV-A | 315 – 400 | Criptocromos Fotorreceptores UV | Acción fotomorfológica, síntesis de pigmentos daño y muerte celular |
| Violeta – Azul | 400 – 510 | Fotosistemas (clorofilas <i>a</i> y <i>b</i>), Criptocromos, Fototropinas | Acción fotosintética, fotomorfogénesis, ritmo circadiano, tiempo de floración, fototropismo, movimiento de cloroplastos, apertura de estomas, estimulación del síntesis de clorofila y carotenos |
| Verde – Amarillo | 510 – 610 | Carotenos | Acción reducida sobre la fotosíntesis |
| Anaranjado – Rojo / Rojo lejano | 610 – 1000 | Fotosistemas (clorofilas <i>a</i> y <i>b</i>), Fitocromos | Acción fotosintética, germinación de semillas, tiempo de floración, ritmo circadiano, fotomorfogénesis, elongación celular |
| Infrarrojo | > 1000 | | Efectos mínimos, poco estudiados |

Las moléculas o complejos moleculares capaces de activarse por fotones de determinadas longitudes de onda y desencadenar las vías de transducción de señales para responder a los estímulos ambientales se conocen como fotorreceptores (Meisel *et al.*, 2011). Existen al menos cuatro familias de fotorreceptores vegetales: los *fitocromos*, capaces de detectar radiación en el rango rojo/rojo lejano (600-750 nm) que regulan procesos como germinación, fotomorfogénesis y fotoperiodicidad. Los fotorreceptores de la familia de los *criptocromos* y *fototropinas* son capaces de detectar la radiación en el rango UV-A/ azul (320-500 nm) y regula procesos como el fototropismo y la reorientación de cloroplastos intracelularmente, así como la síntesis de clorofila. El *UVR8* o el

fotorreceptor de UV-B ha sido recientemente caracterizado a nivel molecular (Rizzini *et al.*, 2011).

4.3.2 Fotoperíodo

El fotoperíodo regula el crecimiento y la floración de las plantas fotoperiódicas. Las plantas se clasifican en categorías de respuesta al fotoperíodo de acuerdo con la longitud de la noche que provoca una respuesta de floración (Thomas y Vince-Prue, 1997). Plantas de día largo, como *Eustoma grandiflorum* (Yamada *et al.*, 2009), *Lupinus hartwegii* (Calvins y Dole, 2001) y *Petunia hybrida* (Blanchard y Runkle, 2010), presentan su floración bajo condiciones de noche corta, mientras que la floración de plantas de día corto, tales como *Chrysanthemum* (Wilkins *et al.*, 1990), es promovido por condiciones de noche larga. El fotoperíodo es a menudo manipulado para inducir o prevenir la floración en especies fotoperiódicas.

Para estudiar el efecto del fotoperíodo en las plantas, se realizó un estudio de los fotorreceptores en donde se encontró que tanto, phyA como cry2 perciben la longitud del fotoperíodo, plantas mutantes de estos fotorreceptores retrasan la floración en condiciones de días largos (Guo *et al.*, 1998; Casal *et al.*, 2003). Bajas relaciones R:RL asociadas a la presencia de plantas vecinas, reducen los niveles del fitocromo activo (Pfr) de phyB, phyD y phyE y adelantan la floración. La temperatura alta también acelera la floración de plantas de mutantes de estos fitocromos (Casal *et al.*, 2003).

Una manera de modificar las condiciones de fotoperíodo es mediante la interrupción de la noche (IN). La IN rompe un período largo y oscuro para brindar una iluminación fotoperiódica, resultando en una modificación de las condiciones de día largo para las plantas (Vince-Prue y Canham, 1983) con un bajo consumo de energía. La IN ha sido

eficaz para acelerar el crecimiento y desarrollo de plantas herbáceas de día largo como *Campanula*, *Coreopsis* y *Cyclamen*; durante la temporada de días cortos (Kim *et al.*, 2011).

El control del fotoperíodo durante la etapa juvenil es un factor importante para acortar el tiempo de cultivo, por lo que se consigue una producción más económica (Kim *et al.*, 2011). La producción de cultivos en sistemas protegidos ha creado muchas oportunidades para el manejo de la luz ambiental, incluyendo la modificación de la duración del día y la suplementación de longitudes de onda (King, 2006). Sin embargo, el fotoperíodo no es el único factor determinante en la floración, es necesaria la integración de otros factores como la temperatura y las giberelinas (Blázquez *et al.*, 2011)

4.3.3 Uso de giberelinas para la inducción floral

Las giberelinas son bioquímicamente descritas como ácidos diterpeno tetracíclicos y están asociados con la inducción de la floración en varias especies. Cuando se aplica de forma exógena, estos reguladores del crecimiento de plantas promueven el crecimiento de pétalos y a la inducción de la floración en plantas de día largo en condiciones de días cortos. Lo contrario puede ocurrir en algunas excepciones (Cid, 2000).

Estas fitohormonas son reconocidas por ser reguladores de muchas fases del desarrollo de plantas superiores incluyendo la germinación de semillas, el alargamiento del tallo, la inducción de la floración, el desarrollo del polen y el crecimiento del fruto. La concentración de las giberelinas bioactivas en plantas está en el rango de 10^{-11} a 10^{-9} g g⁻¹ de peso de materia fresca (PMF), en función del tejido y especie y su función está estrechamente regulada (Sponsel y Hedden, 2010).

Además de promover la diferenciación floral, la giberelina GA1 causa hiper-alargamiento de los tallos mediante la estimulación de la división y el alargamiento celular, en plantas de días largos provocan alargamiento del tallo en respuesta a días largos, pueden causar la germinación de semillas en especies que normalmente requieren frío (estratificación) o luz para inducir la germinación, las giberelinas estimulan la producción de numerosas enzimas, notablemente la α -amilasa, en granos de cereal, mediante aplicaciones exógenas en algunos frutos (por ejemplo uvas) se puede inducir amarre y crecimiento de los frutos y en flores dioicas se puede inducir masculinidad (Jordán y Casaretto, 2006).

Las giberelinas primero se aislaron del hongo *Gibberella fujikuroi* del cual derivan su nombre. La presencia de grandes cantidades de giberelinas como metabolitos secundarios en este hongo condujo al sobrecrecimiento de plantas de arroz infectadas. Por lo tanto, desde su descubrimiento las giberelinas fueron conocidas por ser efectivas en la promoción del alargamiento del tallo y su caracterización a partir del hongo fue seguida por su identificación como componentes naturales de plantas no infectadas (Sponsel y Hedden, 2010).

4.4 Inducción floral en orquídeas

El manejo de los factores temperatura, fotoperíodo e irradiación solos o combinados pueden producir un efecto sobre el crecimiento vegetativo y la inducción floral de orquídeas; sin embargo, la respuesta de las plantas a estos tratamientos es afectada por el género y la especie a la cual pertenezcan las orquídeas utilizadas (López y Runkle, 2005) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Factores que afectan el desarrollo vegetativo y la inducción floral en algunas orquídeas (López y Runkle, 2005).

| Genero | Crecimiento vegetativo | | | Iniciación floral | |
|---------------------|--------------------------|---------------|--|---|---------------|
| | Temperatura (°C) | Fotoperíodo | I.L.M (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹) | Temperatura (°C) | Fotoperíodo |
| <i>Cattleya</i> | 27-32 día 24-29 noche | Días cortos | 300-600 | 12-16 | Días cortos |
| <i>Cymbidium</i> | 25-30 | Sin respuesta | 360-600 | 20-26 día/10-14 noche (frio) 10-14 fluctuación diurna (medio) 25-30 (cálidos) | Sin respuesta |
| <i>Dendrobium</i> | 24-30 | Sin respuesta | 480-720 | 10-13 | Día corto |
| <i>Miltoniopsis</i> | 20-23 | Día largo | 150-300 | 11-14 | Día corto |
| <i>Phalaenopsis</i> | 27-30 | Sin respuesta | 240-400 | 15-25 | Sin respuesta |
| <i>Zygopetalum</i> | 22-26 | Día largo | 300-500 | 11-14 | Día corto |

I.L.M.: Intensidad Luminosa Máxima

Además de los factores ambientales mencionados, la inducción floral en orquídeas también se ve afectada por fitohormonas como el ácido giberélico, sobre todo si se combina con tratamientos de fotoperíodo y temperatura durante la noche y el día (Cuadro 3).

Cuadro 3. Factores que afectan la inducción floral de algunas variedades comerciales de orquídeas.

| Género | Factor | Resultados | Referencia |
|---|---|--|------------------------------|
| <i>Miltoniopsis</i> | Ácido giberélico (AG ₃ : 2.5 mM) | -Floraciones tempranas - Incrementó del número de inflorescencias | Matsumoto (2006) |
| <i>Brassocattleya</i> Marcella Koss | Ácido giberélico (AG ₃ : 250 mg·L ⁻¹) y reducción en la frecuencia de los riegos | -Indujo floración en un 83 % de las plantas tratadas -Incrementó el número y tamaño de las flores | Cardoso <i>et al.</i> (2010) |
| <i>Dendrobium nobile</i> Sea Mary 'Snow King' | Temperatura de 13 o 15 °C durante 3 semanas | -Inducen floración | Yen <i>et al.</i> (2008) |
| <i>Miltonia</i> | Temperaturas de 15 °C y un fotoperíodo de 16 horas durante 40 días | -Favorece crecimiento y floración | Matsui y Yoneda (1997) |
| <i>Miltoniopsis</i> Augres 'Trinity' | Fotoperíodo corto (9 horas luz) por 4 u 8 semanas, después vernalización durante 8 semanas a 14 °C | -Favorece floración más completa y uniforme (≥ 90 %) en las plantas tratadas | López y Runkle, (2006) |
| <i>Phalaenopsis</i> 'Joseph Hampton' (clon Diane) | Irradiancia de 60 ó 160 μmol·m ⁻² ·s ⁻¹ , fotoperíodo de 12 horas y temperatura del aire de 20 °C día/15 °C noche | -Favorece el inicio de la brotación de inflorescencias a los 28 y 34 días respectivamente | Wang (1995) |
| <i>Cymbidium</i> Astronaut 'Rajah' | Temperatura de 26 °C día/12 °C noche y fotoperíodo de 14 horas | -Produce un promedio de 5.9 inflorescencias por planta | Powell <i>et al.</i> (1988) |
| <i>Zigopetalum</i> Redvale 'Fire Kiss' | Fotoperíodo de días cortos y una temperatura de 11 a 14 °C por 8 semanas | -Favorece una floración más rápida, completa y uniforme | López <i>et al.</i> (2003) |

Con el uso de las giberelinas en orquídeas es importante considerar algunos factores. La aplicación de ácido giberélico por vía foliar es una práctica común en ornamentales por lo que es determinante la eficacia de la absorción de sustancias a través de las hojas. La absorción foliar en plantas está determinada por muchas características, entre las que se encuentran la morfología de la hoja, la estructura, la posición, la exposición al sol o la velocidad de los procesos fisiológicos de la planta. Las condiciones ambientales

predominantes tienen una influencia directa sobre la superficie de la hoja durante el crecimiento vegetal, en términos del espesor de cutícula y composición de las ceras epicuticulares (Bird y Gray, 2003). Otro factor importante es el proceso de aspersión el cual implica una serie de eventos complejos relacionados entre sí, la formulación de un ingrediente activo, la atomización de la solución, el transporte de la pulverización a la superficie de la planta, la difusión, la retención en la superficie de las hojas, la formación de residuos y la penetración en la hoja (Brazee *et al.*, 2004). En este sentido en *Cymbidium* se realizó un estudio con el objetivo de conocer la anatomía foliar e identificar las rutas de penetración de un fertilizante foliar, se encontró que la cutícula de esta orquídea es más gruesa en la porción media de la hoja, el número de estomas es constante a lo largo de la hoja y el fertilizante foliar penetra vía estomática y cuticular y dos horas después de asperjado el fertilizante se acumuló en los pseudobulbos (García *et al.*, 2013), al ser este un órgano esencial en el almacenamiento y distribución de nutrientes (Hew y Ng, 1996).

Para mejorar la calidad de las plantas de orquídeas, es deseable un crecimiento juvenil vigoroso para producir brotes nuevos numerosos y pseudobulbos maduros (Hew y Yong, 2004). Kim *et al.* (2013) reportaron la importancia de cumplir con la formación de un número de hojas mínimo para la transición a la etapa reproductiva: 38 hojas en *Cymbidium* (Kim *et al.*, 2011), 18 a 22 hojas en *Antirrhinum* (Cockshull, 1985), 16 hojas en *Coreopsis* (Cameron *et al.*, 1996) y 6 a 7 hojas para *Pericallis* (Yeh y Atherton, 1997).

Respecto a la interrupción de la noche Kim *et al.* (2011) mencionan que las plantas de *Cymbidium* que crecen bajo condiciones de IN alcanzan el tamaño requerido para la floración más rápido que las cultivadas sin IN.

En un estudio dedicado a investigar la interrupción de la noche sobre la inducción floral y el desarrollo en conjunto con los efectos del nitrógeno y el potasio en *Cymbidium* 'Red Fire', se obtuvo un incremento de 75 % en la emergencia de inflorescencias para las plantas cultivadas en condiciones de intensidad luminosa baja ($3-7 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) y con la aplicación de 200 mg de potasio; además, se mejoró la calidad de la flor con la aplicación de 200 mg de Nitrógeno en intensidad luminosa baja y 400 mg de Nitrógeno en intensidad luminosa alta ($120 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) (An *et al.*, 2012).

En otro estudio en *Cymbidium* 'Red Fire' y 'Yokihi', se examinaron los efectos de la interrupción de la noche sobre el crecimiento vegetativo y la floración. El número de hojas, la longitud de la hoja, el número de pseudobulbos y el diámetro pseudobulbo aumentaron bajo condiciones de 9 h de luz ambiental más interrupción nocturna, tanto con intensidad luminosa baja ($3-7 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) como alta ($120 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), en comparación con el control para ambos cultivares. La totalidad de las plantas de *Cymbidium* 'Yokihi' y 80 % de las plantas del "Red Fire" cultivadas bajo condiciones de intensidad luminosa alta florecieron en contraste con un 60 % de las plantas con intensidad luminosa baja, en ambos cultivares. El número de inflorescencias y flores fueron mayores en las plantas crecidas bajo intensidad luminosa alta (Kim *et al.*, 2011).

En *Aranda* Deborah la inducción floral por las giberelinas ocurre porque estas fitohormonas transforman el ápice normal, de brote vegetativo a una inflorescencia terminal (Goh, 1985). En estudios realizados en orquídeas se muestra una inducción de la floración por efecto de la aplicación de ácido giberélico en *Brassocattleya*, *Miltoniopsis*, *Phalaenopsis* y *Paphiopedilum* (Cuadro 4).

Cuadro 4. Inducción floral por ácido giberélico de algunas variedades comerciales de orquídeas.

| Especie | Etapa | AG ₃ | NA | Mejor tratamiento | Resultados obtenidos | Referencia |
|-------------------------------------|---------|--|------------|------------------------|---|------------------------------------|
| <i>Miltoniopsis</i> | Juvenil | 2.5 y 5 mM | 2 (1 año) | 2.5 mM | -Floraciones tempranas - Incrementó del número de inflorescencias | Matsumoto (2006) |
| <i>Brassocattleya Marcella Koss</i> | Maduras | 0, 125, 200,250 ,500 y 1000 mg·L ⁻¹ | 4(7 días) | 250 mg·L ⁻¹ | -Indujo floración en un 83 % de las plantas tratadas -Incrementó el número y tamaño de las flores | Cardoso <i>et al.</i> (2010) |
| <i>Phalaenopsis</i> | Juvenil | 0, 125, 200,250 ,500 y 1000 mg·L ⁻¹ | 2(14 días) | 125 mg·L ⁻¹ | -Indujo floración en un 50 % de las plantas tratadas -Incrementó el número y tamaño de las flores -Aumentó la longitud de las hojas | Cardoso <i>et al.</i> (2012) |
| <i>Rhynchostylis</i> | Juvenil | 3000ppm | 9(10 días) | - | Disminuyó el número de hojas | Phengphachanh <i>et al.</i> (2012) |
| <i>Phalaenopsis</i> | Maduras | 1, 3 y 5 µg | 3(7 días) | 1 µg | -Indujo la floración | Wen-Shaw <i>et al.</i> (1997) |
| <i>Paphiopedilum</i> | Juvenil | 866 ppm | 1 | - | -Indujo la floración -Incremento la longitud de las inflorescencias | Miguel <i>et al.</i> (2008) |

Recientemente ha crecido la demanda del género *Cymbidium* debido a su potencial ornamental, sin embargo, son plantas de crecimiento lento y solo florecen una vez al año. Existen pocos estudios de los factores involucrados en la floración de esta orquídea (fotoperíodo, temperatura y factores endógenos). El manejo de estos factores es importante para optimizar el desarrollo vegetativo y la inducción floral de esta orquídea.

5. LITERATURA CITADA

- An H. R., Y. J. Kim, K. S. Kim (2012)** Flower initiation and development in *Cymbidium* by night interruption with potassium and nitrogen. *Horticulture, Environment and Biotechnology* 53(3):204-211.
- Bird S. M., y J. Gray E. (2003)** Signals from the cuticle affect epidermal cell differentiation. *New Phytol.* 157: 9-23.
- Blanchard M. G., S. Runkle E. (2008)** Temperature and pseudobulb size influence flowering of *Odontioda* orchids. *HortScience* 43(5): 1404-1409.
- Blanchard M. G., S. Runkle E. (2010)** Intermittent light from a rotating high-pressure sodium lamp promotes flowering of long-day plants. *HortScience* 45: 236-241.
- Blázquez M. A., M. Piñeiro, F. Valverde (2011)** Bases moleculares de la floración. *Investigación y Ciencia* 3 (3): 1-12.
- Brazee R. D., M. Bukovac J., H. Zhu. (2004)** Diffusion model for plant cuticular penetration by spray-applied weak organic acid bioregulator in presence or absence of ammonium nitrate. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 47(3): 629-635.
- Calvins T. J., M. Dole J. (2001)** Photoperiod, juvenility, and high intensity lighting affect flowering and cut stem qualities of *Campanula* and *Lupinus*. *HortScience* 36:1192-1196.

- Cameron A. M., Heins Y. R., Carlson W (1996)** Juvenility: your perennial crop's age affects flowering. *GrowerTalks* 60: 30-32.
- Cardoso J. C., E. O. Ono, J. D. Rodrigues (2010)** Gibberellic acid and water regime in the flowering induction of *Brassocattleya* and *Cattleya* hybrid orchids. *Horticultura Brasileira* 28: 395-398.
- Cardoso J. C., E. O. Ono, J. D. Rodrigues (2012)** Gibberellic acid in vegetative and reproductive development of *Phalaenopsis* orchid hybrid genus. *Horticultura Brasileira* 30: 71-74.
- Casal J. J., L. Luccioni G., K. Oliverio A., H. Boccalandro E. (2003)** Light, phytochrome signalling and photomorphogenesis in *Arabidopsis*. *Photochemistry and Photobiology Science* 2: 1–13.
- Cid L. P. B. (2000)** Introdução aos Hormônios Vegetais. Brasília: Embrapa-CENARGEN, 180p.
- Cockshull K. E. (1985)** *Antirrhinum majus*. In Halevy A. H. (Ed.) Handbook of Flowering, CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Cruz E. C., L. Arévalo G. (2006)** Soluciones pulso en la calidad poscosecha de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) Var. Echo blue. *Agricultura Técnica de México*. 32 (2): 191-200.
- Du Puy D., J. Cribb P. (2007)** The Genus *Cymbidium*. Royal Botanic Gardens, Kew. UK. Publishing. 369 p.

- García G. V., G. Valdovinos P., M. N. Rodríguez M., M. E. Pedraza S., L. Trejo T., M. Soto H. (2013)** Rutas de la penetración foliar en la fertilización de la orquídea *Cymbidium* sp. (Orchidaceae). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 913-924.
- Goh C. J. (1985)** Flowering in Tropical Orchids. Proc. Eleventh World Orchid Conf. pp: 166-173.
- Guo H. W., Y. Yang W., C. Mockler T., T. Lin C. (1998)** Regulations of flowering time by *Arabidopsis* photoreceptors. *Science* 279: 1360–1363.
- Hew C. S., J. W. H. Yong (2004)** The Physiology of Tropical Orchids in Relation to the Industry. (2nd ed.). World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore. 329 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.
- Huang Y., L. Fang, X. Yiping, C. Kunsong (2011)** Scent profiling of *Cymbidium ensifolium* by electronic nose. *Scientia Horticulturae* 128: 306-310.
- Jiménez P. N. (2013)** Sustrato, soluciones nutritivas y concentración nutrimental de las orquídeas epifitas amenazadas *Paphiopedilum insigne* y *Laelia autumnalis*. Tesis Doctorado. Colegio de Posgraduados. Texcoco Edo de México. 125 p.
- Jordan M. y Casaretto J. (2006)** Hormonas y Reguladores del Crecimiento: Auxinas, Giberelinas y Citocininas. Fisiología Vegetal (F.A. Squeo & L. Cardemil, eds.) Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile 15:1-28.

- Kim Y. J., H. J. Lee, K. S. Kim (2011)** Night interruption promotes vegetative growth and flowering of *Cymbidium*. *Scientia Horticulturae* 130: 887–893.
- King R. (2006)** Light-regulated plant growth and flowering; from photoreceptors to genes, hormones and signals. *Acta Horticulturae* 711: 227-334.
- López R. G., S. Runkle E. (2005)** Environmental physiology of growth and flowering of orchids. *HortScience* 40(7): 1969-1973.
- López R. G., S. Runkle E. (2006)** Temperature and photoperiod regulate flowering of potted *Miltoniopsis* orchids. *HortScience* 41(3): 593-597.
- López R. G., S. Runkle E., D. Heins R., M. Whitman C. (2003)** Temperature and photoperiodic effects on growth and flowering of *Zigopetalum* Redvale 'Fire Kiss' orchid. *Acta Horticulturae* 24:155-162.
- Martínez G. J., E. Monte C., F. Ruiz C. (2002)** Fitocromos y desarrollo vegetal. *Investigación y Ciencia* 305:20-29.
- Matsui N., Yoneda K. (1997)** Effects of summer temperatures on growth and flowering of *Miltonia*. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 66: 597-605.
- Matsumoto T. K. (2006)** Gibberellic acid and benzyladenine promote early flowering and vegetative growth of *Miltoniopsis* orchid hybrids. *HortScience* 41(1): 131-135.
- Meisel L., D. Urbina, M. Pinto (2011)** Fotorreceptores y respuestas de plantas a señales lumínicas. *Fisiología Vegetal* (F.A. Squeo & L. Cardemil, eds.) Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile 18:1-10.

- Miguel T. P., W. S. Sakai, J. Fang (2008)** Giberelic acid induced flowering of *Paphiopedilum* (Macabre × glanduliferum). *Acta Horticulturae* 766:279-282.
- Murguía G. J., Lee, E. H. E. (2007)** Manual de Producción de Orquídea. Dirección General Editorial. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. 75 p.
- Phengphachanh B., D. Naphrom, W. Bundithya, N. Potapohn (2012)** Effects of day-length and gibberellic acid (GA₃) on flowering and endogenous hormone levels in *Rhynchostylis gigantea* (Lindl.) Ridl. *Journal of Agricultural Science* 4(4):1916-9752.
- Powell C. L., I. Caldwell K., A. Littler R., Warrington I. (1988)** Effect of temperature regime and nitrogen fertilizer level on vegetative and reproductive bud development in *Cymbidium* orchids. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 113: 552-556.
- Rizzini L., J. J. Favory, C. Cloix, D. Faggionato, A. O'Hara, E. Kaiserli, R. Baumeister, E. Schäfer, F. Nagy, G. I. Jenkins, R. Ulm (2011)** Perception of UV-B by the *Arabidopsis* UVR8. *Protein Science* 332: 103-106.
- Sponsel V. M., P. Hedden (2010)** Gibberellin biosynthesis and inactivation. *In: Plant Hormone: Biosynthesis, signal transduction, action*. 3ra. Ed. (Eds.) Peter J. Davies. Springer, N.Y., USA. pp: 63-94.
- Steiner A. A. (1984)** The universal nutrient solution. *In: Proceedings of Sixth International Congress on Soilless Culture*. Lunteren, The Netherlands. pp. 633-649.

- Steinfort U., Cisternas M. A., García R., Vogel H., Verdugo G (2012)** Phenological cycle and floral development of *Chloraea crispa* (Orchidaceae). *Ciencia e Investigación Agraria* 39(2): 377-385.
- Thomas B., D. Vince-Prue (1997)** Photoperiodism in plants. London: Academic Press.
- Torres H. M. I., M. N. Rodriguez M., M. Soto H., M. E. Pedraza S. (2012)** Hydroponics and colored shade nets in *Lisianthus (Eustoma grandiflorum)* production. *Acta Horticulturae* 947: 409-413.
- Vince-Prue D., A. E. Canham (1983)** Horticultural significance of photomorphogenesis. *Photomorphogenesis*. Springer Berlin Heidelberg. 518-544.
- Wang Y. T. (1995)** *Phalaenopsis* orchid light requirement during the induction of spiking. *HortScience* 30:59–61.
- Wen-Shaw C., C. Hsueh-Wen, C. Wen-Huei, L. Yih-Shyan (1997)** Gibberellic acid and cytokinin affect *Phalaenopsis* flower morphology at high temperature. *HortScience* 32(6): 1069-1073.
- Wilkins H. F., W. E. Healy, K. L. Grueber (1990)** Temperature regime at various stages of production influences growth and flowering of *Dendranthema x grandiflorum*. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115: 732-736.
- Wu P. H., C. N. Chang D. (2009)** The use of N-6-benzyladenine to regulate flowering of *Phalaenopsis* orchids. *HortTechnology* 19(1): 2000-2003.

Yamada A. T. Tanigawa, T. Suyama, T. Matsuno, T. Kunitake (2009) Red:far-red light ratio and far-red light integral promote or retard growth and flowering in *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. *Science Horticultural* 120: 101-106.

Yeh D. M., Atherton J. G (1997) Manipulation of flowering in cineraria. *Journal Horticultural Science*. 72: 55-66.

Yen CH. Y. T., W. Starman T., T. Wang Y., Niu G. (2008) Effects of cooling temperature and duration on flowering of the nobile *Dendrobium* orchid. *HortScience* 43(6): 1765-1769.

CAPITULO II. EFECTO DEL ÁCIDO GIBERÉLICO EN EL DESARROLLO DE *Cymbidium* sp.

RESUMEN

El género *Cymbidium*, agrupa especies ornamentales con gran importancia comercial. Sin embargo, se requieren al menos cinco años desde la siembra hasta el desarrollo de flores incluyendo de tres a cuatro años de etapa juvenil. El objetivo de este trabajo fue identificar la acción del ácido giberélico en el desarrollo de plantas de *Cymbidium* sp. en etapa juvenil. Se establecieron tres concentraciones de AG₃ (5, 125 y 250 mg L⁻¹) y un testigo. La concentración de 5 mg L⁻¹ de ácido giberélico incrementó 57 % el número de pseudobulbos y su número de hojas (1 hoja más), la longitud de la hoja se incrementó 9 % con relación al tratamiento testigo, el número de brotes con la dosis de 125 mg L⁻¹ se incrementó al doble respecto al testigo. Las lecturas SPAD disminuyeron 13 % con la aplicación de 5 mg L⁻¹ en comparación con el testigo.

Palabras clave: fitohormonas, desarrollo vegetativo, orquídeas.

CHAPTER II. THE GIBBERELIC ACID EFFECT IN *Cymbidium* sp GROWTH

ABSTRACT.

The genus *Cymbidium* includes ornamental species with valuable commercial importance. Nevertheless, the vegetative growth requires at least five years from the sowing to the blossom period, including some three or four years as young plants. The objective of the following work and research was to identify the influence of Gibberellic acid (GA₃) in the growth of young plants of *Cymbidium* sp. The treatment consisted in three concentrations of GA₃ (5, 125 and 150 mg L⁻¹) and a witness.

The 5 mg L⁻¹ concentration of GA₃ increased 57 % the pseudobulbs and leaves number (a extra leaf), the length of the leaf increased 9 % according to the witness treatment, the sprout number with the use of 125 mg L⁻¹ concentration of GA₃ the increase was the double according to the witness. The SPAD readings decreased 13 % when the 5 mg L⁻¹ was applied in comparison with the witness.

Key words: Phytohormones, vegetative growth, orchids.

I. INTRODUCCIÓN

El control de la floración constituye el factor primario en la cadena de producción en ornamentales. La floración está influenciada por estímulos termo y fotoperiódicos, pero es también evidente que estos estímulos físicos son transformados en estímulos químicos, de modo que las hormonas y en general los metabolitos del vegetal, tienen una participación importante en el proceso de floración (Blázquez *et al.*, 2011). La aplicación exógena de algunas giberelinas sintéticas, promueve la inducción de la floración en plantas de noche corta bajo condiciones de noche larga o en las plantas que requieren un período de baja temperatura o vernalización para florecer (Cid, 2000; Cardoso *et al.*, 2012). Después de la inducción, las giberelinas promueven diversos aspectos del desarrollo floral, como la identidad de los órganos del meristemo floral, el crecimiento de anteras, y el desarrollo y pigmentación de la corola (Azcón-Bieto y Talón, 2000).

En estudios realizados en orquídeas se muestra una inducción de la floración por efecto de la aplicación de ácido giberélico en *Brassocattleya* (Cardoso *et al.*, 2010), *Miltoniopsis* (Matsumoto, 2006), *Phalaenopsis* (Cardoso *et al.*, 2012; Wen-Shaw *et al.*, 1997) y *Paphiopedilum* (Miguel *et al.*, 2008).

La familia Orchidaceae es la más grande dentro de las angiospermas, consta de más de 35 000 especies, 750 géneros más de 100 000 híbridos producidos de forma natural o mediante cruces controladas (Albert *et al.*, 2010; Cardoso *et al.*, 2005). Entre las variedades requeridas por el mercado, se encuentran los géneros *Cattleya*, *Phalaenopsis*, *Oncidium*, *Cymbidium*, *Dendrobium* y sus numerosos híbridos. El género *Cymbidium*, agrupa especies con importancia comercial, ya que es una de las orquídeas

más populares y demandadas a nivel internacional por la belleza de sus flores. Sin embargo, se requieren al menos cinco años desde la siembra hasta el desarrollo de las flores, incluyendo de 3-4 años de la etapa juvenil.

En el género *Cymbidium* se carecen de estudios para determinar el efecto del ácido giberélico en la inducción floral. Tomando en consideración lo anterior, el presente trabajo se realizó con el objetivo de medir el efecto de la aplicación de ácido giberélico en el desarrollo de plantas de *Cymbidium* en etapa juvenil.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización del sitio experimental

El presente trabajo se desarrolló en la ciudad de Uruapan, Michoacán, que se localiza entre los 19°23'41.15" de latitud norte y 102°03' 31.44" de longitud oeste, a 1599 msnm de altitud.

2.2. Material vegetal

Para los ensayos se utilizaron 100 plantas de cuatro años de edad cultivadas en macetas de 1240 mL de capacidad, con tierra de hoja como sustrato. Estas plantas se obtuvieron por propagación *in vitro* y cuando se aplicaron los tratamientos estaban en etapa juvenil, con una edad aproximada de 48 meses y de 5 a 6 pseudobulbos.

2.3. Establecimiento y manejo experimental

Se llevaron a cabo cuatro ensayos; en el primero se evaluaron cuatro tratamientos, que consistieron en tres concentraciones de AG₃ (125, 250 y 500 mg L⁻¹) y un testigo sin fitohormonas. A cada planta se le aplicó un total de 100 mL de solución mediante aspersión a las hojas, correspondiente a 12.5, 25 y 50 mg de AG₃ totales por planta, respectivamente con lo cual, se generó escurrimiento hacia la parte basal de la planta y se humedecieron las raíces.

En el segundo ensayo se aplicaron 10 tratamientos, nueve originados de la combinación de tres concentraciones de AG₃ (125, 250 y 500 mg L⁻¹) con tres niveles de número de aplicaciones (una, dos o tres) más un tratamiento control sin aplicación de fitohormonas.

En un tercer ensayo, se probaron cuatro concentraciones de AG_3 (0, 5, 60 y 125 mg L⁻¹). Producto de los resultados obtenidos en los ensayos anteriores se estableció uno más, donde se probaron tres nuevas concentraciones de AG_3 (5, 125 y 250 mg L⁻¹) más un testigo.

En los últimos tres ensayos se aplicaron 4 mL de la solución de AG_3 por planta, es decir 0.5, 1 y 2 mg de AG_3 por aplicación, respectivamente para el segundo, 0.02, 0.24 y 0.5 mg totales, respectivamente para el tercero y 0.02, 0.5 y 1 mg, respectivamente para el último. En todos los casos se usó el diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones y la unidad experimental constó de una planta.

Las plantas se cultivaron en un invernadero tipo cenital con cubierta plástica y estructura de acero galvanizado, ventilación lateral con malla anti-afidos, con cuatro ventiladores y malla con 80 % de sombra. Los registros ambientales promedio durante el experimento fueron: temperatura y humedad relativa diurnas de 26 °C y 47 %, respectivamente y temperatura y humedad relativa nocturnas de 15 °C y 80 %, respectivamente.

Durante todo el experimento (febrero 2014-junio 2016), las plantas se regaron con Solución Universal Steiner (1984) a 40 % de la concentración total de sales minerales, con la siguiente concentración y relación de aniones y cationes expresada en meq L⁻¹: 4.8 de NO_3^- , 0.4 de $H_2PO_4^-$, 2.8 de SO_4^{2-} y 2.8 de K^+ , 1.6 de Ca^{2+} , 1 de Mg^{2+} . Las soluciones se prepararon con fertilizantes comerciales solubles, para ello se tomó en cuenta el contenido de sales en el agua corriente (NO_3 , H_2PO_4 , SO_4^{2-} , K^+ , Mg^{2+} , 0.09, 0.02, 0.46, 0.70 y 0.56 meq L⁻¹, respectivamente). Se adicionaron 10 mg L⁻¹ de Kelatex® a la solución como fuente de micronutrientes. El pH se ajustó a 5.6-5.7 y el potencial osmótico a -0.036 MPa, con el método propuesto por Juárez *et al.* (2006).

2.4. Variables evaluadas

Se registraron las variables siguientes: el número de pseudobulbos (jóvenes, maduros y senescentes), el número de hojas por pseudobulbo, su longitud y su ancho, el diámetro y la longitud del pseudobulbo, el número de brotes (emergiendo, jóvenes y maduros), el número de hojas por brote y su ancho, la longitud y el diámetro de brotes y el tiempo de aparición de nuevos pseudobulbos a partir de la aplicación de los tratamientos. En el segundo par de hojas de un pseudobulbo recientemente maduro se determinó de manera indirecta el contenido de clorofila mediante lecturas SPAD utilizando un medidor portátil Minolta SPAD-502 (Figura 1D). Estas mediciones se realizaron tres veces en los dos primeros ensayos y dos en el tercero y cuarto. En el primer ensayo también se evaluó el grado de toxicidad ocasionado por los tratamientos en hojas y pseudobulbos, ocho días después de aplicados éstos.

2.5. Análisis estadístico de datos

Se realizaron análisis de varianza (ANDEVA) y pruebas de comparación de medias en los casos que hubo significancia estadística con el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0.

Para las comparaciones de medias se utilizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Para el análisis de varianza del grado de toxicidad, que sólo se midió en una ocasión, se utilizó el modelo de bloques al azar; pero para las variables en las cuales hubo repeticiones en el tiempo, se utilizó un análisis combinado en modelo de parcelas divididas, donde las fechas de medición constituyeron las parcelas grandes y los tratamientos, las chicas.

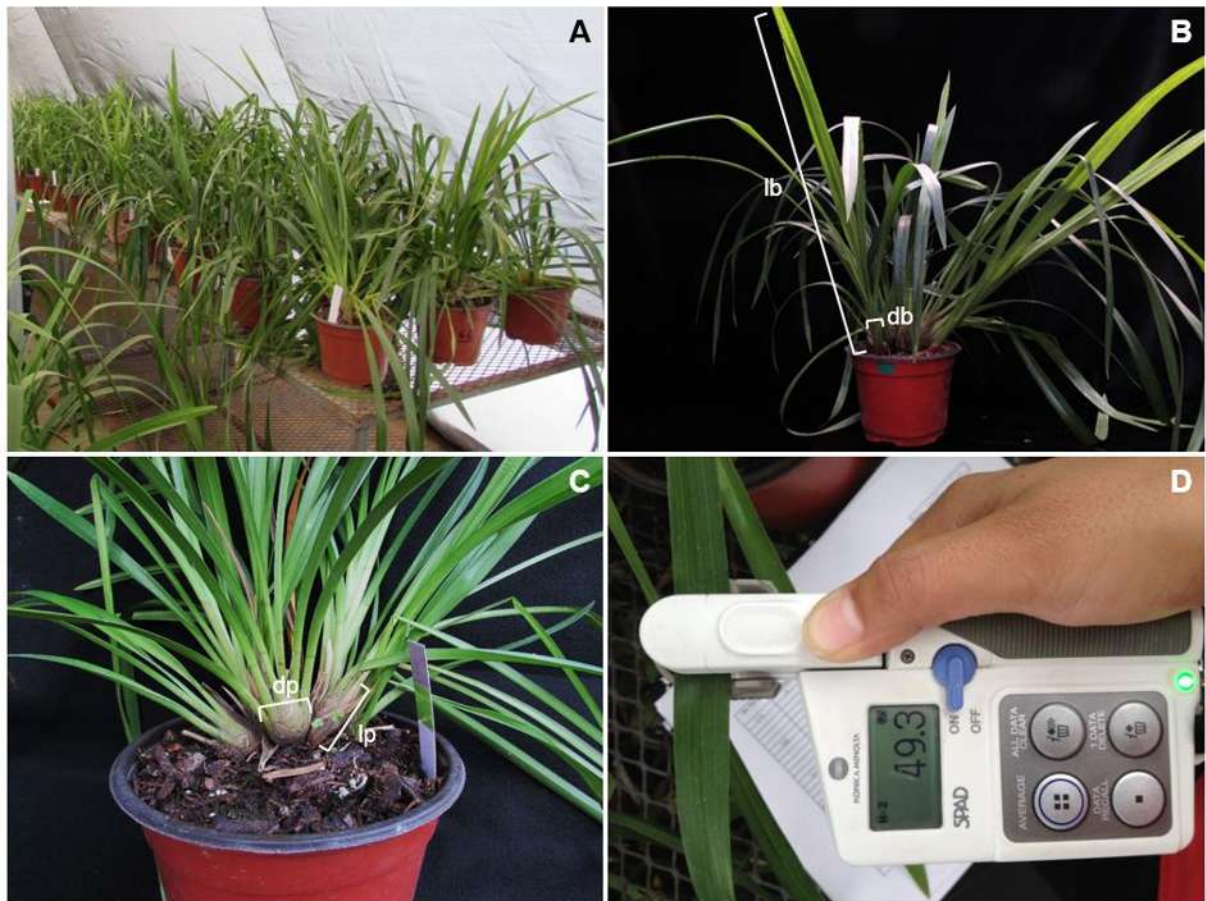


Figura 1. Algunos detalles experimentales: A) Plantas de *Cymbidium* sp. de cuatro años de edad, B) longitud y diámetro del brote, C) longitud y diámetro del pseudobulbo y D) Lecturas SPAD. lb=longitud del brote, db=diámetro del brote, dp=diámetro del pseudobulbo y lp=longitud del pseudobulbo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Primer ensayo

Los análisis de varianza indicaron efectos significativos atribuidos a los tratamientos en el grado de fitotoxicidad en hojas y pseudobulbos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza para el efecto de la dosis de ácido giberélico sobre el número de hojas y pseudobulbos dañados de plantas de *Cymbidium* sp. a los 8 días después de la aplicación.

| Fuente de variación | GL | Hojas | | | | Pseudobulbos | | | |
|---------------------|----|-----------------------------------|------|---------|--------|-----------------------------------|------|---------|--------|
| | | SC | CM | F-Valor | Pr>F | SC | CM | F-Valor | Pr>F |
| Tratamiento | 3 | 0.06 | 0.02 | 11.99 | <.0001 | 0.10 | 0.03 | 9.30 | <.0001 |
| Error | 46 | 0.07 | 0.00 | | | 0.16 | 0.00 | | |
| Total | 49 | 0.13 | | | | 0.25 | | | |
| | | r ² = 0.43 CV= 3.71 | | | | r ² = 0.37 CV= 5.43 | | | |

Las dosis de ácido giberélico aplicadas a las plantas del primer ensayo, provocaron efectos tóxicos que se manifestaron como clorosis de hojas y pseudobulbos, ocho días después de establecido el experimento (Figura 2 y 3).

El 27 % de pseudobulbos de las plantas tratadas con 100 mL de 250 mg L⁻¹ de AG₃ mostraron daños por toxicidad, estos niveles resultaron estadísticamente iguales que los del tratamiento con 500 mg L⁻¹ de AG₃, pero superiores a los otros dos (Figura 2A). En el caso de las hojas, cualquier dosis de AG₃ provocó daños significativos, que variaron del 11 al 22 % respecto al testigo. (Figura 2B). Ng y Hew (2000) observaron reducciones en el contenido mineral de pseudobulbos maduros durante el desarrollo de los brotes nuevos por la removilización de nutrientes. En este experimento los daños parecen estar relacionados con una movilización de nutrientes de las hojas viejas a los pseudobulbos

por el efecto fitotóxico de las concentraciones de AG₃ utilizadas. En *Rhynchosyilis gigantea* (Lindl.) Ridl, concentraciones de 3000 ppm de AG₃ causa la disminución en 23 % del número de hojas por planta (Phengphachanh *et al.*, 2012). Sin embargo, este efecto parece no ser del todo negativo.

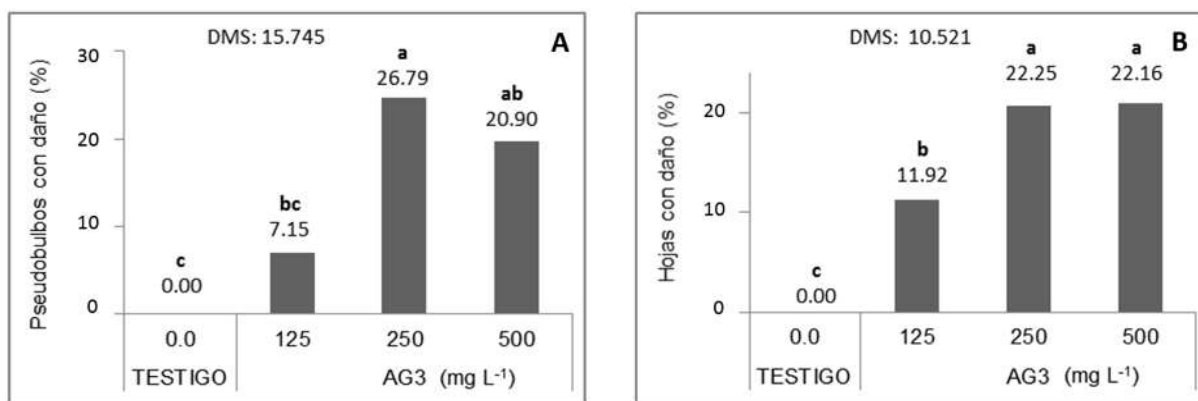


Figura 2. Efectos tóxicos en hojas y pseudobulbos de *Cymbidium* sp. por aplicaciones de ácido giberélico (AG₃). A) porcentaje de pseudobulbos dañados y B) porcentaje de hojas dañadas. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).



Figura 3. Plantas de *Cymbidium* sp. con efectos fitotóxicos A) Planta con hojas y pseudobulbos cloróticos y B) Planta con hojas secas.

Respecto a las otras variables, en el análisis combinado se detectaron efectos significativos entre fechas de medición en número de pseudobulbos y hojas, longitud de pseudobulbos, número de brotes y hojas, longitud de hoja y de brote, ancho de la hoja y lecturas SPAD. La concentración de ácido giberélico afectó estadísticamente número de hojas, longitud y el diámetro de pseudobulbo y ancho de la hoja (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cuadrados medios de los análisis de varianza combinados (cuatro tratamientos y tres fechas de medición) realizados para el primer ensayo con niveles de AG₃ en el desarrollo de *Cymbidium* sp.

| Factor de variación | Grados de Libertad | NP | NHP | LP (mm) | DP (mm) | NB | NHB | LH (cm) | LB (cm) | AH (mm) | Lecturas (SPAD) |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| Fecha de medición (FM) | 2 | 15.82* | 29.85** | 132.32** | 9.61 ^{NS} | 13.43** | 34.85** | 2307.97** | 1965.16** | 92.04** | 275.05** |
| Repetición (Rep) | 4 | 1.71 ^{NS} | 0.23 ^{NS} | 0.83 ^{NS} | 2.44 ^{NS} | 1.60 ^{NS} | 0.42 ^{NS} | 35.32 ^{NS} | 100.55 ^{NS} | 7.56 ^{NS} | 9.85 ^{NS} |
| FM*Rep | 8 | 2.49 ^{NS} | 0.60 ^{NS} | 13.01 ^{NS} | 8.32 ^{NS} | 1.98 ^{NS} | 2.31 ^{NS} | 62.16 ^{NS} | 291.33 ^{NS} | 3.38 ^{NS} | 8.27 ^{NS} |
| Ácido giberélico (AG ₃) | 3 | 0.73 ^{NS} | 6.55* | 56.34* | 31.99* | 2.55 ^{NS} | 0.69 ^{NS} | 86.96 ^{NS} | 168.64 ^{NS} | 16.82* | 33.04 ^{NS} |
| FM*AG ₃ | 6 | 0.55 ^{NS} | 2.31 ^{NS} | 28.98 ^{NS} | 7.94 ^{NS} | 0.37 ^{NS} | 1.38 ^{NS} | 81.95 ^{NS} | 44.70 ^{NS} | 1.35 ^{NS} | 9.50 ^{NS} |

* = $P \leq 0.05$, ** = $P \leq 0.01$, NS = no significativa, NP = número de pseudobulbos, NHP = número de hojas por pseudobulbo, LP = longitud del pseudobulbo, DP = diámetro del pseudobulbo, NB = número de brotes, NHB = número de hojas por brote, LH = longitud de la hoja, LB = longitud de brote y AH = ancho de hoja.

En relación a la fecha de medición sobre los pseudobulbos y los brotes, el número de pseudobulbos se incrementó 36 % un año después de la aplicación del ácido giberélico (Figura 4A); el mayor número de hojas por pseudobulbo se encontró a los 8 días después de la aplicación (dda) (5.62 hojas) mientras que a los 30 dda disminuyó 2.41 hojas en promedio (Figura 4B) debido al efecto fitotóxico causado por las concentraciones altas de AG₃ anteriormente descrito, donde se presentó la clorosis de hojas que después dio lugar a la pérdida de las hojas por la removilización de nutrientes, lo que probablemente influyó en el aumento de la longitud del pseudobulbo ya que a los 365 dda de ácido giberélico esta se incrementó 11 % en comparación con la primera fecha de medición a los 8 dda (Figura 4C).

El número de brotes se incrementó con el paso de los días hasta 57 % a los 365 dda en comparación con la medición a los 8 dda (Figura 4D), además el número de sus hojas también se modificó, a los 8 dda se encontraron 5.99 hojas por brote, por planta, después de 365 dda se incrementó a 8.57 hojas (Figura 4E).

La longitud de la hoja fue mayor (82.33 cm) en la tercer fecha de medición (365 dda), mientras que en la primer y segunda fecha de medición se mantuvo de manera similar (65.73 y 62.21 cm, respectivamente) (Figura 4F). El ancho de la hoja aumento 17 % a los 365 después de la aplicación de AG₃ en comparación con la segunda fecha de medición (30 dda) (Figura 5A).

Las lecturas SPAD también fueron mayores con el paso de los días. Se acrecentó 14 % en la tercer fecha de medición (365 dda) en relación con la primera (8dda) (Figura 5B).

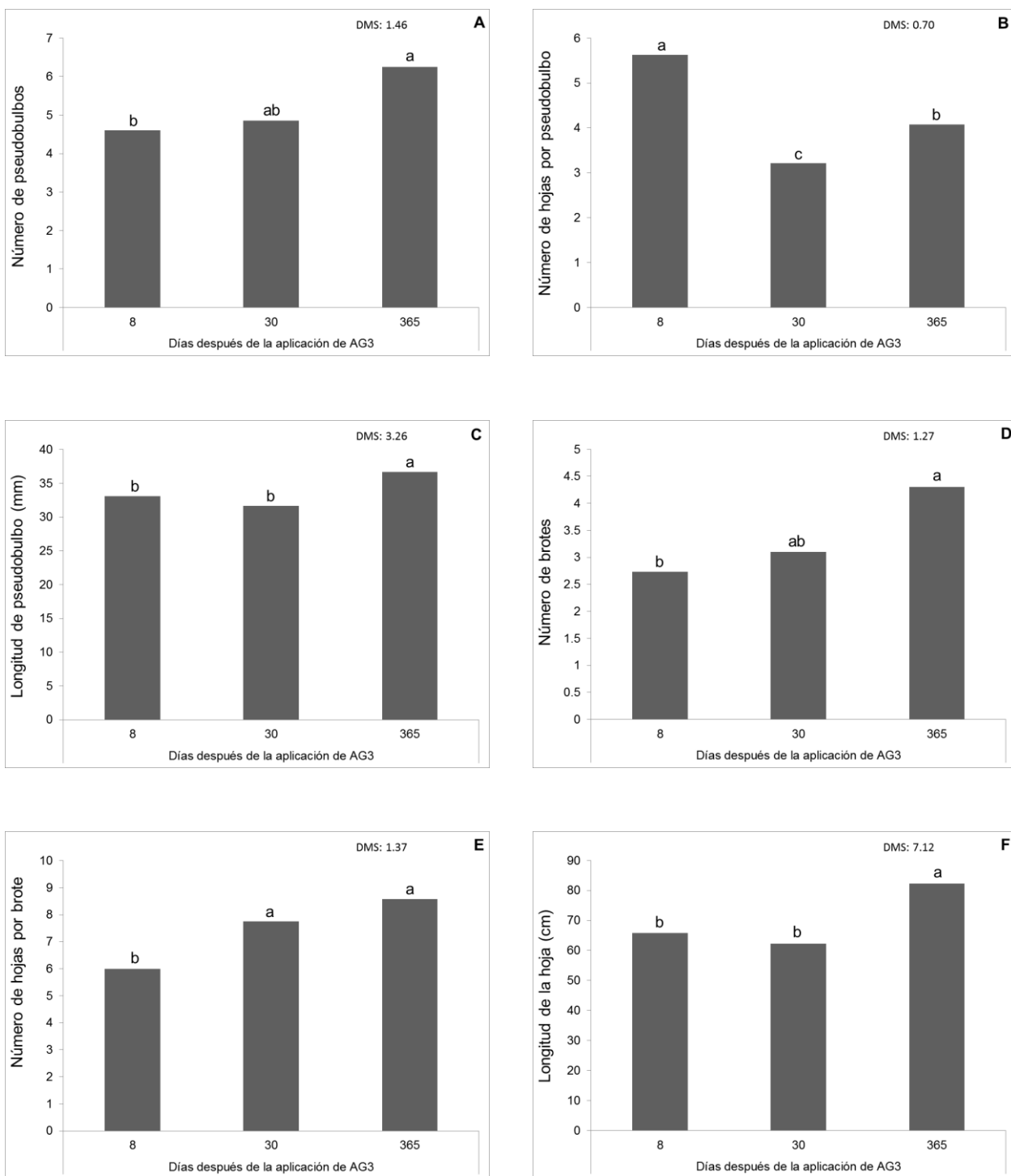


Figura 4. Efecto de la fecha de medición en el número de pseudobulbos (A), número de hojas por pseudobulbo (B), longitud del pseudobulbo (C), número de brotes (D), número de hojas por brote (E) y longitud de la hoja (F) en plantas de *Cymbidium* sp. del primer ensayo; 8, 30 y 565 días después de su establecimiento. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05)

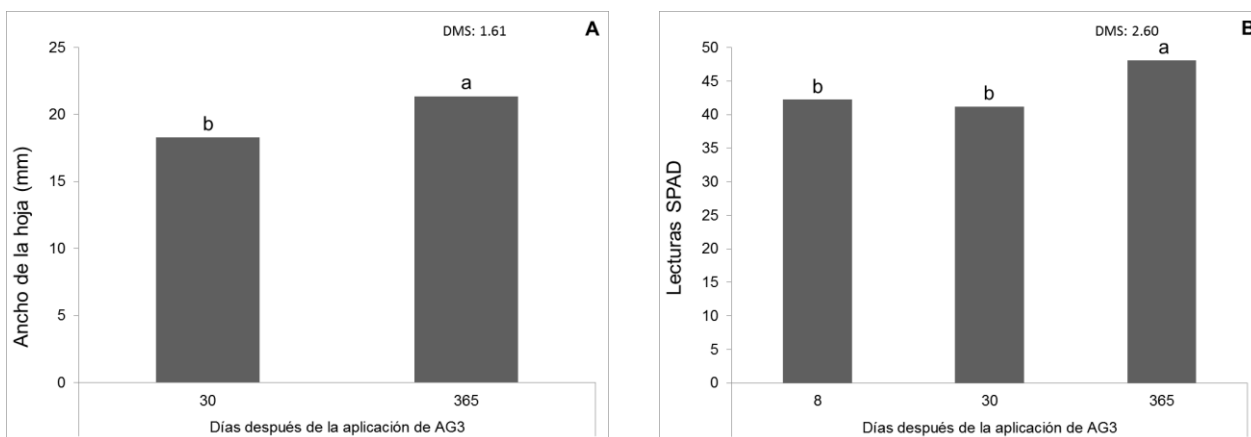


Figura 5. Efecto de la fecha de medición en el ancho de la hoja (A) y lecturas SPAD (B) en plantas de *Cymbidium* sp. del primer ensayo, después de la aplicación de ácido giberélico (AG₃). Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

Con relación al efecto de las concentraciones de AG₃ se encontró lo siguiente: Sólo hubo diferencias significativas en el diámetro de pseudobulbos entre los tratamientos con 250 y 500 mg L⁻¹, todos los demás resultaron iguales entre sí. El diámetro mayor (25.13 mm) se obtuvo al aplicar 250 mg L⁻¹ de AG₃ (Figura 6).

Asimismo, los pseudobulbos de mayor tamaño se obtuvieron al aplicar 250 mg L⁻¹ de AG₃ (35.29 mm), tratamiento estadísticamente similar al testigo, aunque diferente a 500 mg L⁻¹ que generó pseudobulbos más pequeños (30.965 mm) (Figura 7).

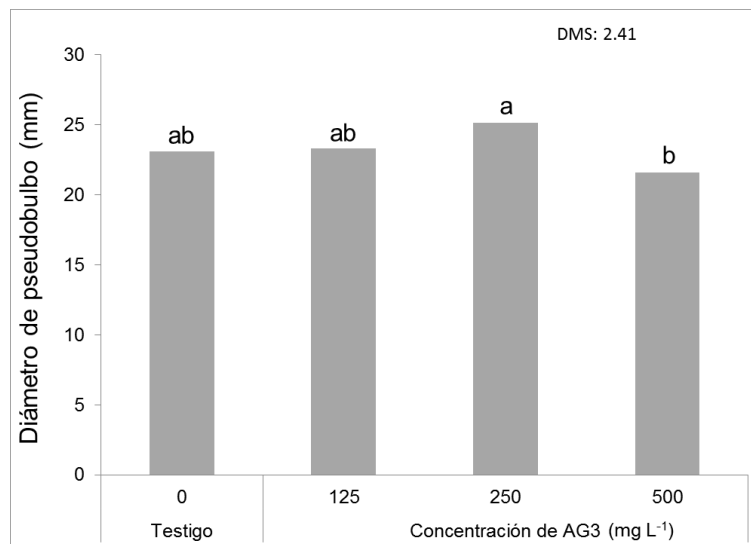


Figura 6. Efecto de la concentración de ácido giberélico (AG₃) en el diámetro de pseudobulbos de *Cymbidium* sp. del primer ensayo. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

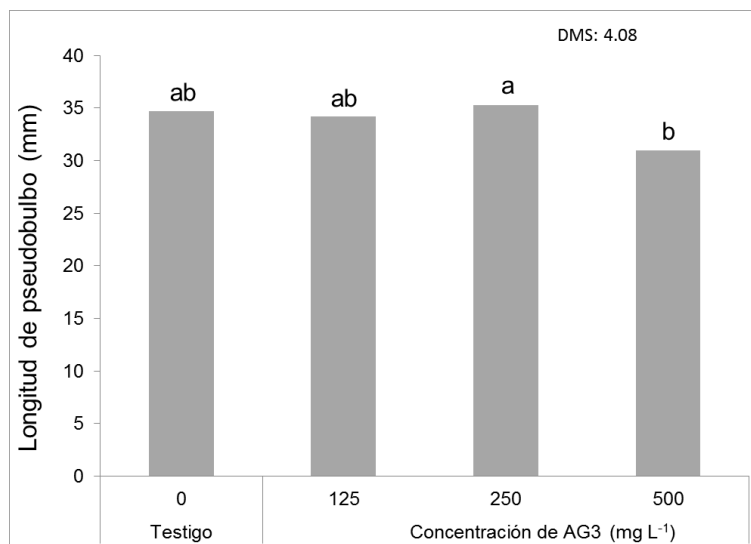


Figura 7. Longitud del pseudobulbo de plantas de *Cymbidium* sp. por efecto de la concentración de ácido giberélico (AG₃) en el primer ensayo. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

En el número de hojas por pseudobulbo se encontró que conforme aumentó la concentración de AG₃ el número de hojas disminuyó hasta 29 % con la dosis más alta (500 mg L⁻¹) en comparación con el tratamiento sin la fitohormona (Figura 8). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Phengphachanh *et al* (2012) en *Rhynchosyilis gigantea* (Lindl.) Ridl. en donde el número de hojas por planta disminuyó 23 % al utilizar 3000 ppm de AG₃ por efecto de toxicidad. Cardoso *et al* (2012) indican que dosis altas, por encima de 125 mg L⁻¹ de esta hormona puede causar efectos fitotóxicos en la floración de *Phalaenopsis* al promover la reducción del tamaño de flores y el diámetro de pétalos, además de disminuir el diámetro de las hojas.

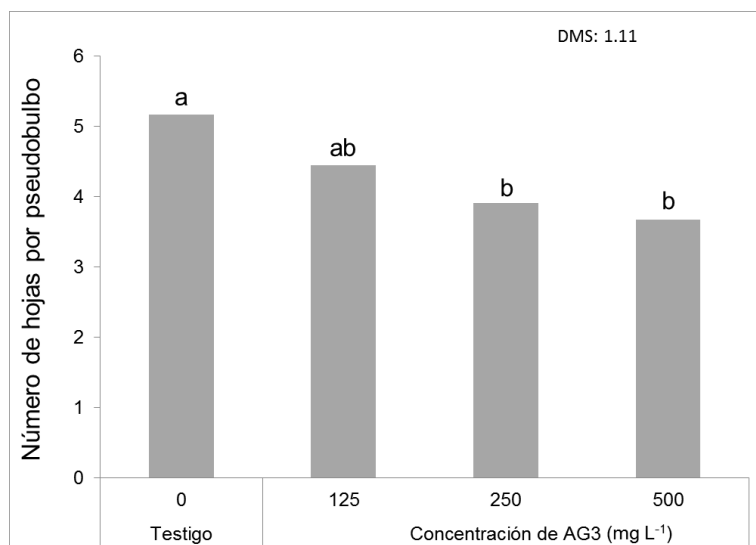


Figura 8. Efecto de la concentración de ácido giberélico (AG₃) sobre el número de hojas por pseudobulbo en plantas de *Cymbidium* sp. del primer ensayo. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

Con relación al ancho de la hoja las plantas con la concentración de 250 mg L⁻¹ mostraron hojas 17 % más anchas en comparación con el tratamiento testigo (Figura 9).

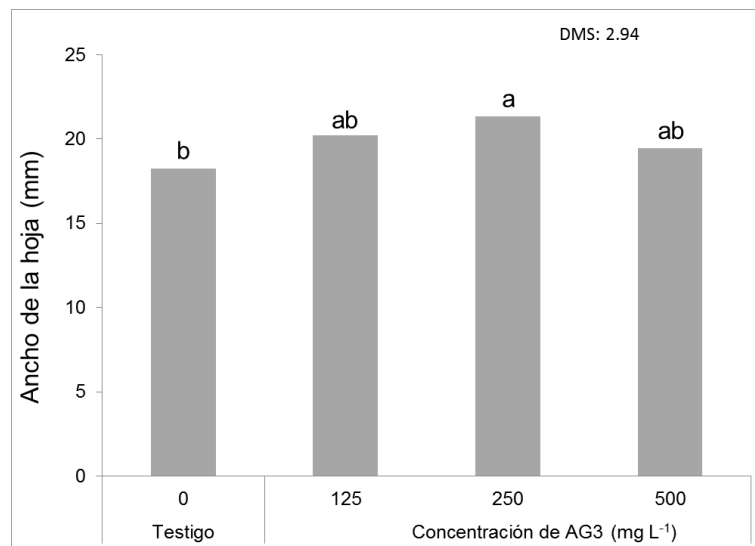


Figura 9. Efecto de la concentración de ácido giberélico (AG₃) sobre el ancho de la hoja de plantas de *Cymbidium* sp. del primer ensayo. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

3.2 Segundo ensayo

En el segundo ensayo el número de pseudobulbos, número de brotes, largo de hoja, ancho de hoja del brote y lecturas SPAD fueron afectadas estadísticamente por la fecha de medición (FM). La longitud y el diámetro del pseudobulbo así como el número de brotes y de hojas por brote variaron por la concentración de AG₃. Por su parte, el número de aplicaciones (NA) tuvo efectos en el número de hojas por pseudobulbo, longitud de la hoja y ancho de la hoja. La interacción AG₃*NA resultó significativa para número de hojas por brote, ancho de hoja y ancho de la hoja del brote; en tanto que la FM* AG₃ sólo tuvo efectos en número de hojas por brote (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cuadrados medios de los análisis de varianza combinados (tres tratamientos, tres aplicaciones y tres fechas de medición) realizados para el segundo ensayo.

| Factor de variación | Grados de libertad | NP | NHP | LP (mm) | DP (mm) | NB | NHB | LH (cm) | LB (cm) | AH (mm) | AHB (mm) | Lecturas (SPAD) |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Fecha de medición (FM) | 3 | 6.94* | 5.78 ^{NS} | 35.101 ^{NS} | 7.75 ^{NS} | 21.67** | 6.31 ^{NS} | 796.41* | 121.17 ^{NS} | 5.72 ^{NS} | 24.70* | 574.71** |
| Repetición (Rep) | 4 | 37.54** | 11.72** | 212.91** | 80.36** | 18.88** | 4.26 ^{NS} | 513.08* | 270.37 ^{NS} | 43.69** | 53.28** | 11.72 ^{NS} |
| FM*Rep | 12 | 0.58 ^{NS} | 1.21 ^{NS} | 5.00 ^{NS} | 1.74 ^{NS} | 0.52 ^{NS} | 5.77 ^{NS} | 61.66 ^{NS} | 47.39 ^{NS} | 3.87 ^{NS} | 0.56 ^{NS} | 7.34 ^{NS} |
| Ácido giberélico (AG ₃) | 2 | 1.91 ^{NS} | 6.02 ^{NS} | 255.43** | 60.36* | 10.14* | 20.42* | 455.17 ^{NS} | 62.29 ^{NS} | 3.24 ^{NS} | 2.96 ^{NS} | 35.91 ^{NS} |
| Número de aplicaciones (NA) | 2 | 3.74 ^{NS} | 19.22** | 60.10 ^{NS} | 11.36 ^{NS} | 1.94 ^{NS} | 0.34 ^{NS} | 634.35* | 191.98 ^{NS} | 25.77* | 15.19 ^{NS} | 11.78 ^{NS} |
| AG ₃ *NA | 4 | 2.60 ^{NS} | 4.94 ^{NS} | 36.47 ^{NS} | 25.46 ^{NS} | 13.10** | 11.26* | 254.28 ^{NS} | 279.17 ^{NS} | 24.35* | 38.49** | 13.48 ^{NS} |
| FM*AG ₃ | 6 | 0.46 ^{NS} | 2.06 ^{NS} | 15.99 ^{NS} | 1.44 ^{NS} | 0.55 ^{NS} | 9.48* | 148.26 ^{NS} | 22.11 ^{NS} | 2.97 ^{NS} | 0.41 ^{NS} | 9.12 ^{NS} |
| FM*NA | 6 | 0.32 ^{NS} | 0.90 ^{NS} | 2.51 ^{NS} | 1.65 ^{NS} | 0.55 ^{NS} | 2.11 ^{NS} | 59.59 ^{NS} | 7.46 ^{NS} | 1.83 ^{NS} | 0.98 ^{NS} | 10.44 ^{NS} |
| FM*AG ₃ *NA | 12 | 0.40 ^{NS} | 0.92 ^{NS} | 4.39 ^{NS} | 2.04 ^{NS} | 0.96 ^{NS} | 3.82 ^{NS} | 72.43 ^{NS} | 25.27 ^{NS} | 2.72 ^{NS} | 0.70 ^{NS} | 21.76 ^{NS} |

* = $P \leq 0.05$, ** = $P \leq 0.01$, NS = no significativa, NP = número de pseudobulbos, NHP = número de hojas por pseudobulbo, LP = longitud del pseudobulbo, DP = diámetro del pseudobulbo, NB = número de brotes, NHB = número de hojas por brote, LH = longitud de la hoja, LB = longitud de brote, AH = ancho de hoja y AHB = ancho de la hoja del brote.

El número de pseudobulbos se incrementó 20 % en la tercera fecha de medición (60 días después de la aplicación (dda)) con relación a la primera (0 dda) y este efecto se mantuvo hasta los 90 dda (Figura 10A).

El número de brotes se incrementó 53 % a los 30 dda y se mantuvo de manera similar hasta los 90 dda (Figura 10B).

La longitud de la hoja, disminuyó a los 30 dda de AG₃ (57.10 mm) pero posteriormente se incrementó de manera similar al testigo (64.89, 65.46 y 66.04 mm; 0, 60 y 90 dda respectivamente) (Figura 10C).

Las lecturas SPAD se incrementaron conforme aumentaron los días después de la aplicación de AG₃ hasta 20 % a los 90 dda en comparación con el tratamiento a los 0 dda (Figura 10D).

A través de paso de los días se observa el crecimiento de la planta por el incremento en el número de pseudobulbos, el tamaño de las hojas y los valores de las lecturas SPAD.

Por efecto de las dosis de AG₃, la longitud del pseudobulbo de plantas de *Cymbidium* sp. se incrementó de 32.69 y 32.58 mm (con 125 y 250 mg L⁻¹ de AG₃ respectivamente) a 36.21 mm con el tratamiento de 500 mg L⁻¹ (Figura 11A).

Por su parte, el diámetro del pseudobulbo se incrementó 8 % al aplicar 500 mg L⁻¹ en comparación con 125 mg L⁻¹ (Figura 11B).

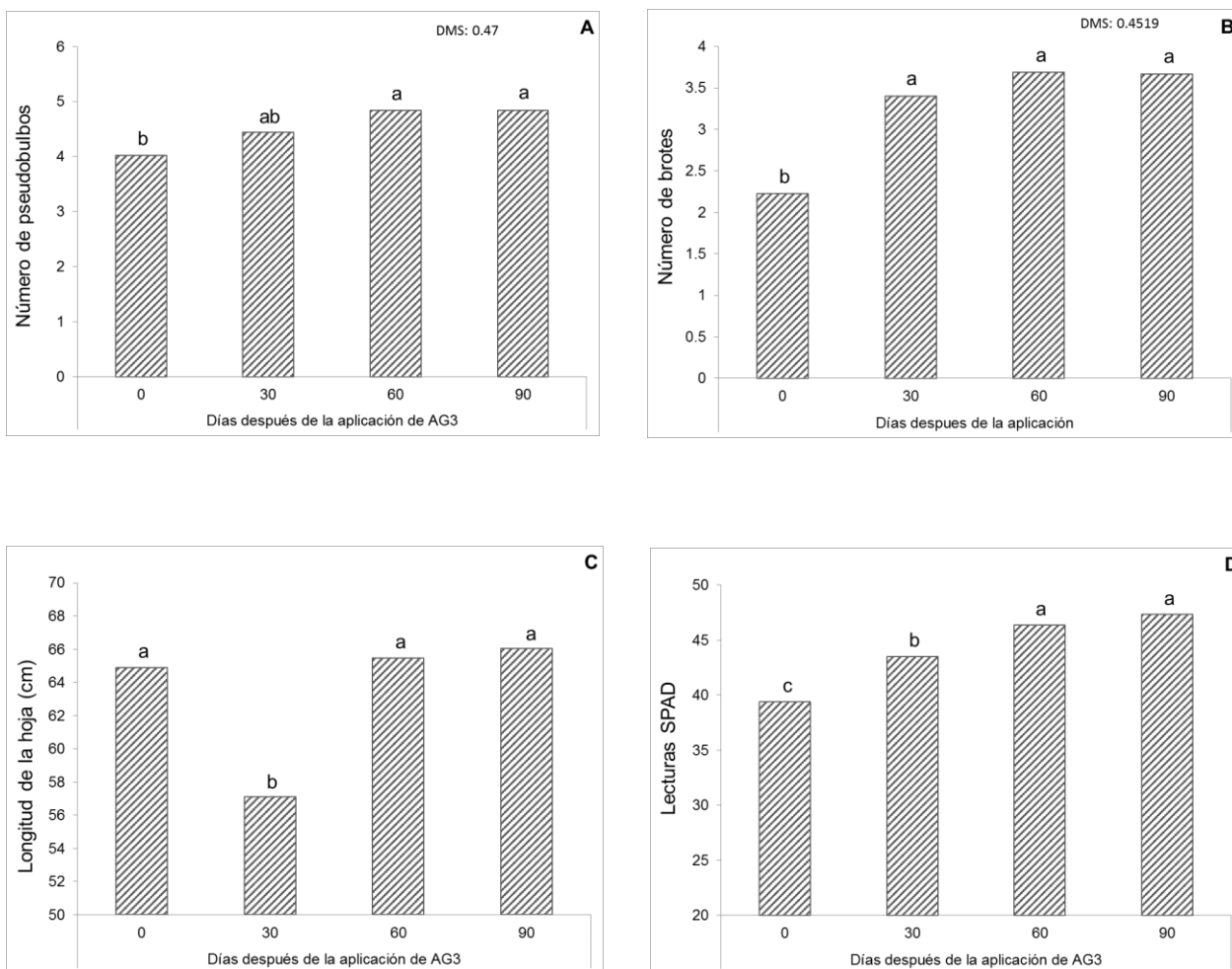


Figura 10. Efecto de la fecha de medición en el número de pseudobulbos (A), número de brotes (B), longitud de la hoja (C) y valor de las lecturas SPAD (D) en plantas de *Cymbidium* sp. del segundo ensayo; 8, 30 y 60 y 90 días después de su establecimiento. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

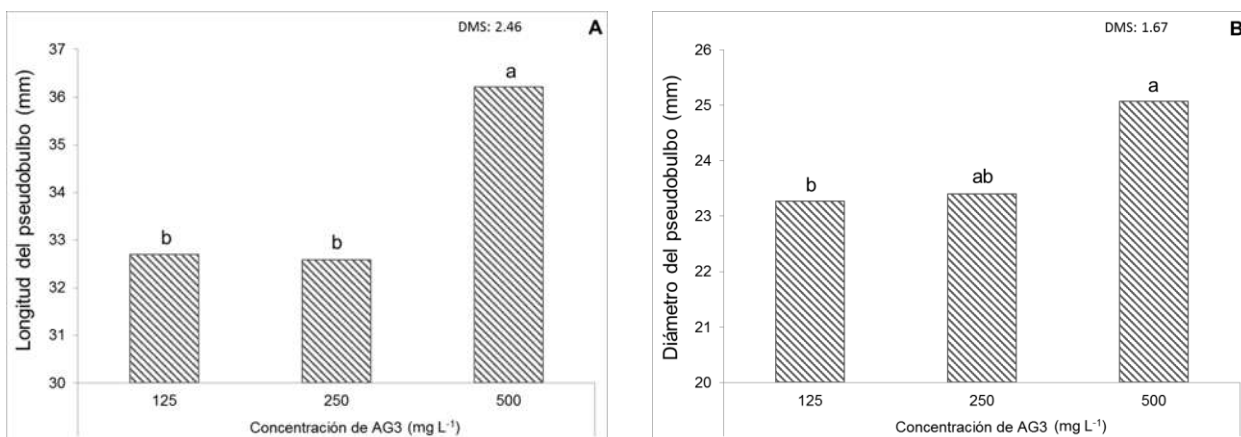


Figura 11. Efecto de la concentración de ácido giberélico (AG₃) en plantas de *Cymbidium* sp. del segundo ensayo sobre la longitud (A) y el diámetro del pseudobulbo (B). Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

Por efecto del número de aplicaciones, la longitud de la hoja, disminuyó 9 % al aplicar en dos ocasiones en comparación con una aplicación (Figura 12).

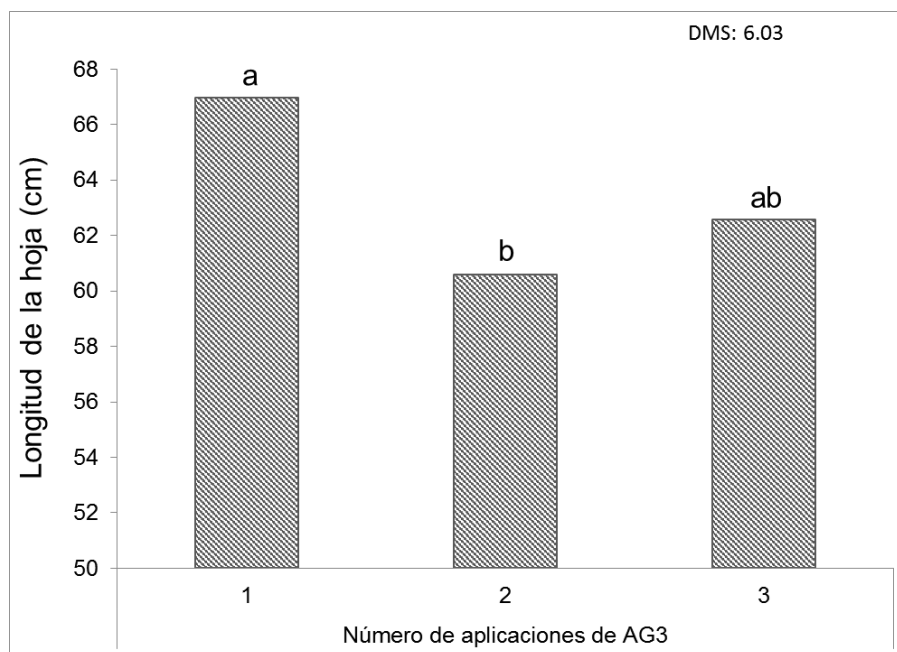


Figura 12. Respuesta la longitud de la hoja en plantas de *Cymbidium* sp. del segundo ensayo al número de aplicaciones de ácido giberélico (AG₃). Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

La interacción AG³*NA indicó que el mayor número de brotes se obtuvo con la dosis menor de AG₃ aplicada en tres ocasiones (4.3 brotes); el número de brotes disminuyó significativamente a la misma dosis con una sola aplicación o con mayores concentraciones con tres (250 y 500 mg L⁻¹) o dos aplicaciones (500 mg L⁻¹) (Figura 13).

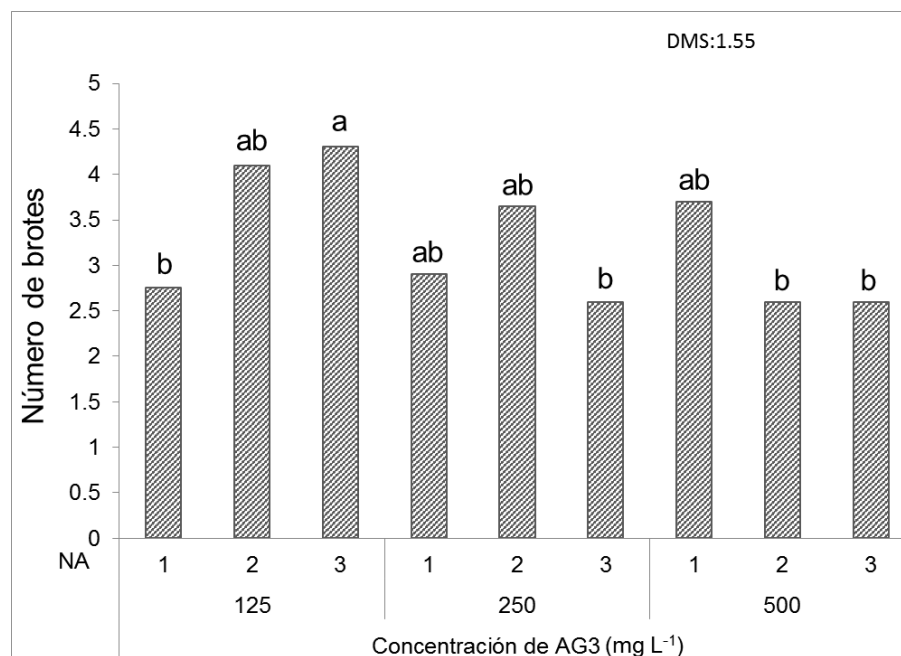


Figura 13. Interacción AG₃*NA (ácido giberélico y número de aplicaciones) en el número de brotes de plantas de *Cymbidium* sp. del segundo ensayo. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

Sobre el ancho de la hoja, la interacción significativa AG₃*NA indicó que este valor fue mayor y significativamente igual en todas las concentraciones con tres aplicaciones, así como en la de 500 mg L⁻¹ de AG₃ y dos aplicaciones, las cuales sólo fueron diferentes a la combinación de 125 mg L⁻¹ de AG₃ con dos aplicaciones (15.33 mm) (Figura 14).

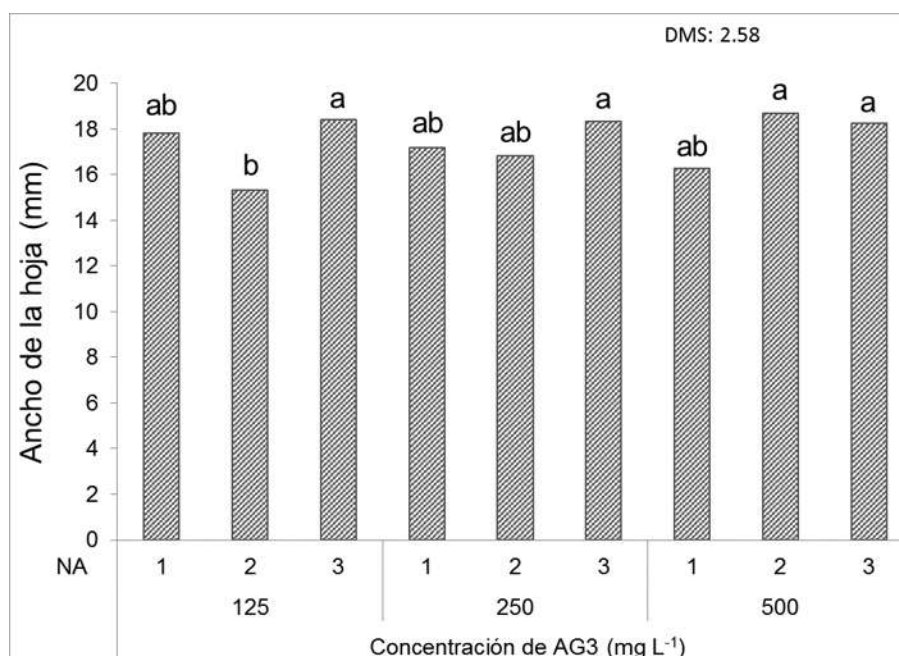


Figura 14. Interacción AG₃*NA (número de aplicaciones) en el ancho de la hoja de plantas de *Cymbidium* sp. del segundo ensayo. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

De acuerdo con la interacción AG₃*NA (número de aplicaciones) en el ancho de la hoja del brote de plantas de *Cymbidium* sp. del segundo ensayo, Las hojas más anchas se obtuvieron al aplicar 250 mg L⁻¹ de AG₃ en tres ocasiones (22.43 mm), mientras que el resultado más bajo se encontró con 125 mg L⁻¹ y dos aplicaciones y 500 mg L⁻¹ y una aplicación (18.92 mm) (Figura 15).

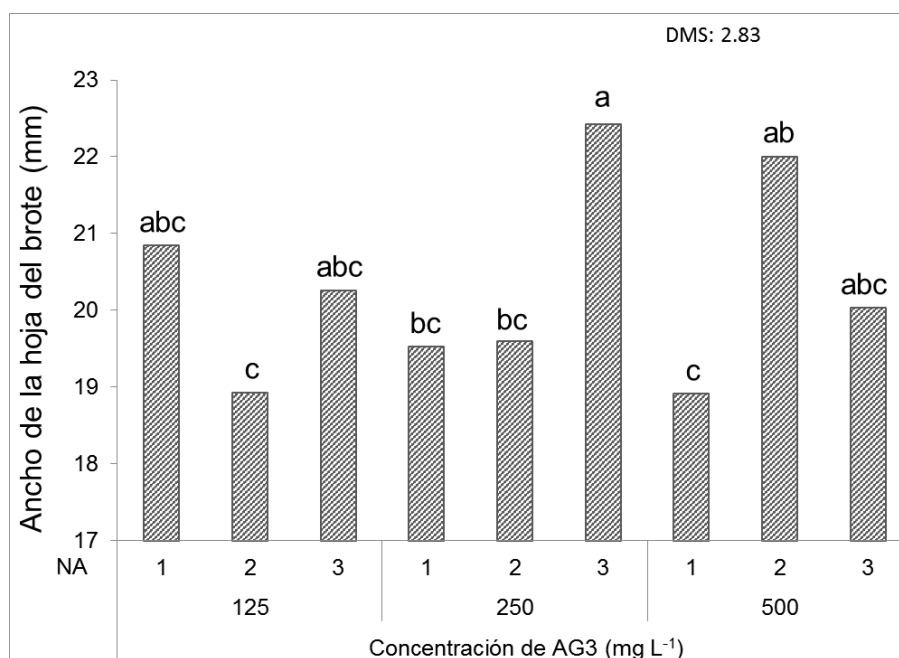


Figura 15. Interacción AG₃*NA (ácido giberélico y número de aplicaciones) en el ancho de la hoja del brote en plantas de *Cymbidium* sp. del segundo ensayo. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

La misma interacción señaló que el número de hojas por brote sólo fue estadísticamente diferente entre las concentración de 125 (7.76 hojas) y 500 (5.31 hojas) mg L⁻¹ de ácido giberélico aplicadas una sola vez (Figura 16A).

La interacción concentración de ácido giberélico por fecha de medición indica que el mayor número de hojas se observó con 125 mg L⁻¹ de AG₃ al inicio de los tratamientos y con 250 mg L⁻¹ de AG₃ a los 90 dda (7.34 y 7.95 hojas, respectivamente) y el tratamiento con menos hojas fue con 500 mg L⁻¹ a los 60 dda (4.8 hojas) (Figura 16B).

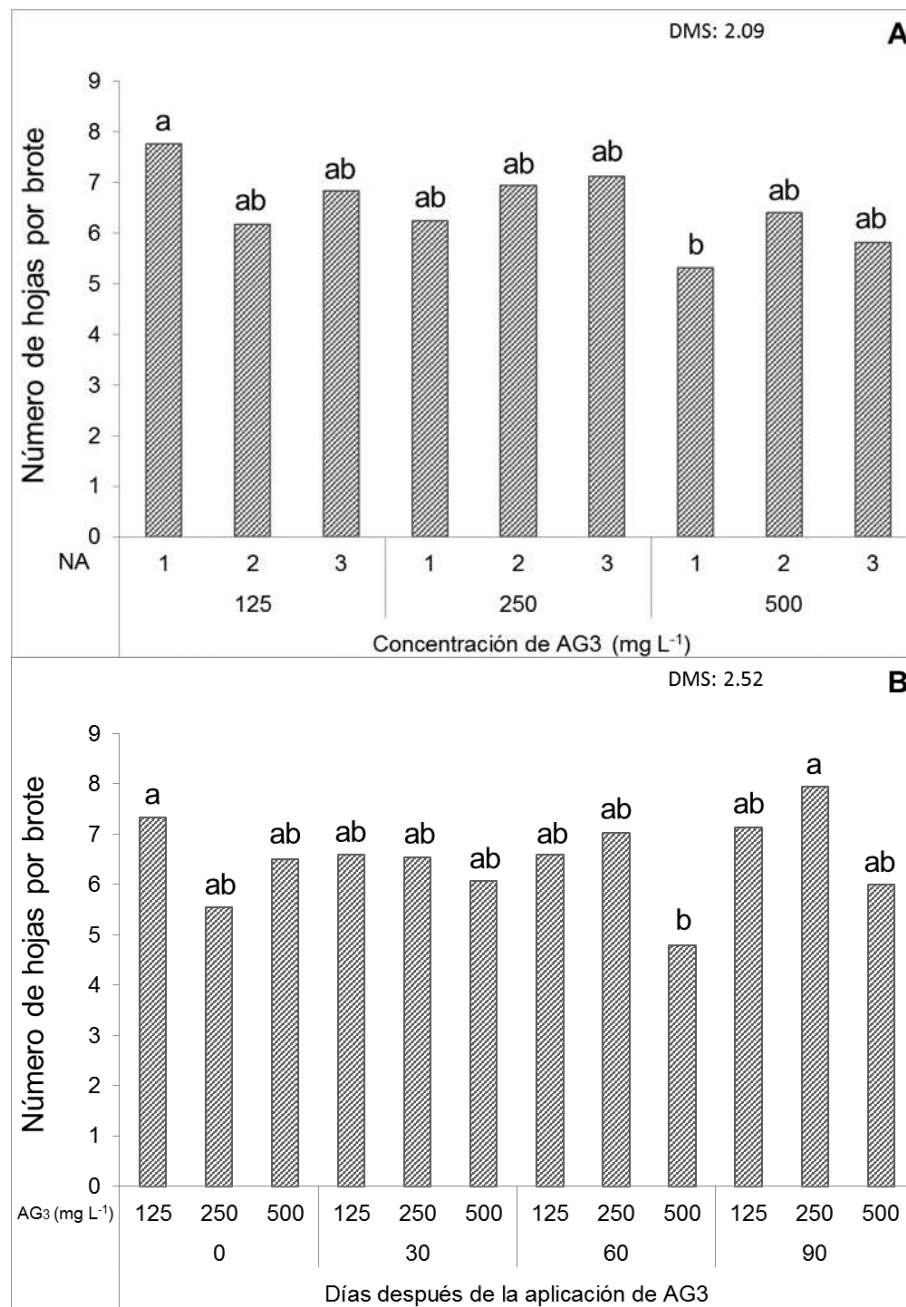


Figura 16. Interacciones AG₃*NA (número de aplicaciones) (A) y de AG₃*FM (fecha de medición (B) en el número de hojas por brote de plantas de *Cymbidium* sp. del segundo ensayo. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

3.3 Tercer ensayo

En el tercer ensayo, los análisis de varianza sólo detectaron diferencias significativas por efecto de la fecha de medición en el número de hojas por brote; y por la concentración de AG₃ en la longitud del pseudobulbo, el número de brotes, el número de hojas por brote y el ancho de la hoja del brote. (Cuadro 4).

Cuadro 4. Cuadrados medios de los análisis de varianza combinados (cuatro tratamientos y dos fechas de medición) realizados para el tercer ensayo.

| Factor de variación | Grados de libertad | NP | NHP | LP (mm) | DP (mm) | NB | NHB | LH (cm) | AH (mm) | AHB (mm) |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Fecha de medición (FM) | 1 | 0.00 ^{NS} | 0.26 ^{NS} | 0.01 ^{NS} | 0.01 ^{NS} | 0.63 ^{NS} | 9.78* | 5.06 ^{NS} | 0.228 ^{NS} | 0.23 ^{NS} |
| Repetición (Rep) | 1 | 0.25 ^{NS} | 0.30 ^{NS} | 5.76 ^{NS} | 0.26 ^{NS} | 0.56 ^{NS} | 0.81 ^{NS} | 0.06 ^{NS} | 0.842 ^{NS} | 24.01 ^{NS} |
| FM*Rep | 1 | 0.00 ^{NS} | 0.09 ^{NS} | 0.00 ^{NS} | 0.02 ^{NS} | 0.06 ^{NS} | 0.00 ^{NS} | 4.00 ^{NS} | 0.086 ^{NS} | 0.19 ^{NS} |
| Ácido giberélico (AG ₃) | 3 | 6.92 ^{NS} | 0.63 ^{NS} | 232.55* | 17.82 ^{NS} | 3.06* | 13.29* | 212.83 ^{NS} | 32.794 ^{NS} | 64.96* |
| FM*AG ₃ | 3 | 0.00 ^{NS} | 0.08 ^{NS} | 0.05 ^{NS} | 0.01 ^{NS} | 0.06 ^{NS} | 0.10 ^{NS} | 2.23 ^{NS} | 0.154 ^{NS} | 0.09 ^{NS} |

* = $P \leq 0.05$, NS = no significativa, NP = número de pseudobulbos, NHP = número de hojas por pseudobulbo, LP = longitud del pseudobulbo, DP = diámetro del pseudobulbo, NB = número de brotes, NHB = número de hojas por brote, LH = longitud de la hoja, AH = ancho de hoja y AHB = ancho de la hoja del brote.

El número de hojas por brote se modificó por efecto de la fecha de medición. Se observó un incremento de 1.56 hojas en promedio a los 90 dda en comparación con los 30 dda (Figura 17).

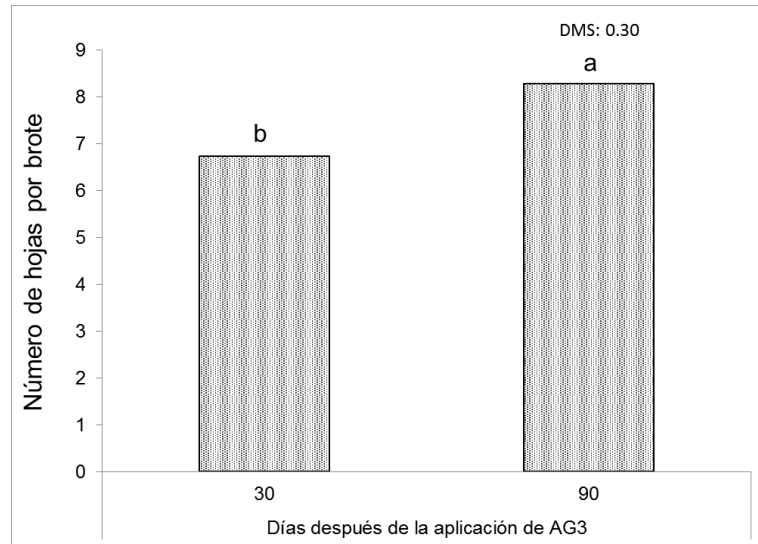


Figura 17. Número de hojas por brote en plantas de *Cymbidium* sp. a los 30 y 60 días después de la aplicación de ácido giberélico (AG₃). Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

La longitud del pseudobulbo fue mayor al aplicar AG₃ (54.5, 55.57 y 62.99) en comparación con el tratamiento sin la fitohormona (44.44 mm) (Figura 18).

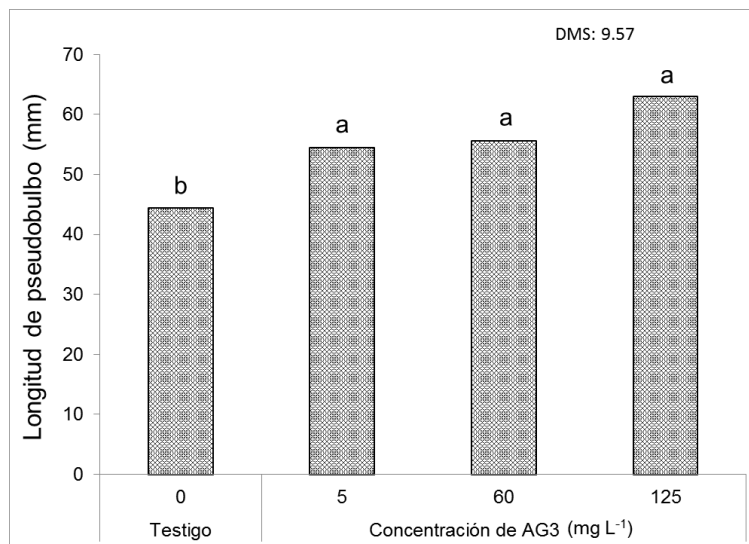


Figura 18. Longitud de pseudobulbo por la influencia de la concentración de ácido giberélico (AG₃) en el tercer ensayo. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

El número de brotes se incrementó en dos brotes al aplicar 5 mg L⁻¹ de AG₃ (4.5 brotes) en comparación con el tratamiento testigo (2.5 brotes) (Figura 19).

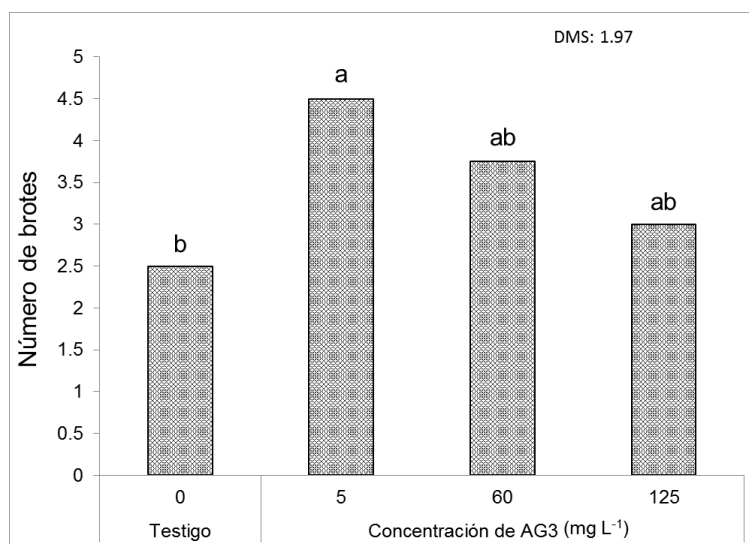


Figura 19. Influencia de la concentración de ácido giberélico (AG₃) sobre el número de brotes de plantas de *Cymbidium* sp. en el tercer ensayo. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

Además la concentración de 60 mg L⁻¹ de ácido giberélico incremento 54 % el ancho de la hoja del brote en relación con el tratamiento testigo (Figura 20B). Respecto al número de hojas por brote, el mejor resultado se obtuvo al aplicar 125 mg L⁻¹ (10.08 hojas) mientras que el menor número de hojas fue el tratamiento testigo al igual que la dosis de 60 mg L⁻¹ (6.25 y 6.18 hojas, respectivamente) (Figura 20A). De acuerdo con el cuadro 3 se observa que después de 90 dda el crecimiento de las plantas fue muy poco probablemente porque las dosis de AG₃ no fueron las adecuadas, por lo que se aumentó la concentración de AG₃ para el experimento siguiente.

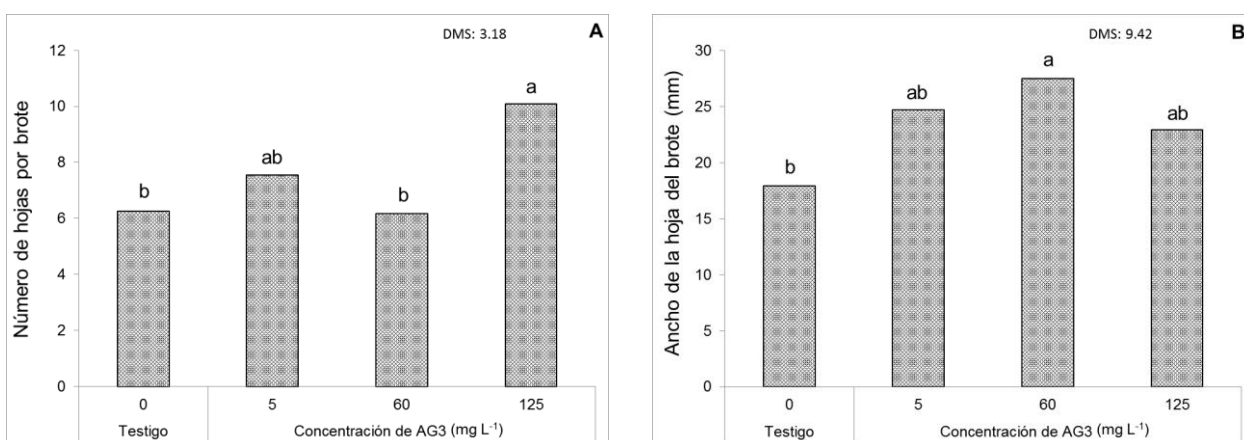


Figura 20. Efecto de las concentraciones de ácido giberélico (AG₃) en plantas de *Cymbidium* sp. sobre A) el número de hojas por brote y B) ancho de la hoja del brote en el tercer ensayo. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

3.4 Cuarto ensayo

En el cuarto ensayo hubo diferencias atribuidas a la fecha de medición en el número de brotes; El número de pseudobulbos, de hojas del pseudobulbo, longitud de la hoja y las lecturas SPAD fueron afectadas por las concentraciones de AG₃ (Cuadro 5).

Cuadro 5. Cuadrados medios de los análisis de varianza combinados (cuatro tratamientos y dos fechas de medición) realizados para el cuarto ensayo.

| Factor de variación | Grados de libertad | NP | NHP | LP (mm) | DP (mm) | NB | NHB | LH (cm) | LB (cm) | AH (mm) | AHB (mm) | Lecturas (SPAD) |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| Fecha de muestreo (FM) | 1 | 5.63 ^{NS} | 0.02 ^{NS} | 50.29 ^{NS} | 10.31 ^{NS} | 19.60* | 4.03 ^{NS} | 93.03 ^{NS} | 24.56 ^{NS} | 1.22 ^{NS} | 2.32 ^{NS} | 1.12 ^{NS} |
| Repetición (Rep) | 4 | 11.09* | 1.72 ^{NS} | 40.98 ^{NS} | 5.95 ^{NS} | 3.46 ^{NS} | 4.41 ^{NS} | 159.65* | 1520.75* | 12.65* | 30.71* | 6.21 ^{NS} |
| FM*Rep | 4 | 0.31 ^{NS} | 0.76 ^{NS} | 4.85 ^{NS} | 1.92 ^{NS} | 0.29 ^{NS} | 1.56 ^{NS} | 27.29 ^{NS} | 45.70 ^{NS} | 0.01 ^{NS} | 4.22 ^{NS} | 1.93 ^{NS} |
| Ácido giberélico (AG ₃) | 3 | 23.09** | 3.33* | 69.26 ^{NS} | 14.68 ^{NS} | 14.97** | 3.30 ^{NS} | 195.42* | 158.88 ^{NS} | 5.04 ^{NS} | 15.56 ^{NS} | 87.33** |
| FM*AG ₃ | 3 | 0.56 ^{NS} | 0.63 ^{NS} | 20.79 ^{NS} | 1.61 ^{NS} | 0.47 ^{NS} | 1.23 ^{NS} | 1.14 ^{NS} | 38.83 ^{NS} | 0.51 ^{NS} | 21.66 ^{NS} | 0.48 ^{NS} |

* = $P \leq 0.05$, ** = $P \leq 0.01$, NS = no significativa, NP = número de pseudobulbos, NHP = número de hojas por pseudobulbo, LP = longitud del pseudobulbo, DP = diámetro del pseudobulbo, NB = número de brotes, NHB = número de hojas por brote, LH = longitud de la hoja, LB = longitud de brote, AH = ancho de hoja y AHB = ancho de la hoja del brote.

El número de pseudobulbos se incrementó de 7.85 en la primer fecha de medición a 8.6 en la segunda (Figura 21A). La longitud del pseudobulbo se modificó con el paso de los días, estos fueron más largos 2.24 mm en promedio de la primer (60 dda) a la segunda fecha de medición (120 dda) (Figura 21B).

En relación al número de brotes a los 120 dda hubo 1.4 más brotes que a los 60 dda (Figura 21C).

La segunda fecha de medición (120 dda) presentó la hojas de *Cymbidium* más anchas (0.35 mm) comparado con la primera (60 dda) (Figura 21D).

En este ensayo, el crecimiento de las plantas por efecto de la fecha de medición fue muy poco, ya que solo se presentaron diferencias estadísticas significativas en cuatro variables. Se obtuvieron más pseudobulbos y de mayor longitud, así como un mayor número de brotes y hojas mas anchas en los cuatro meses evaluados.

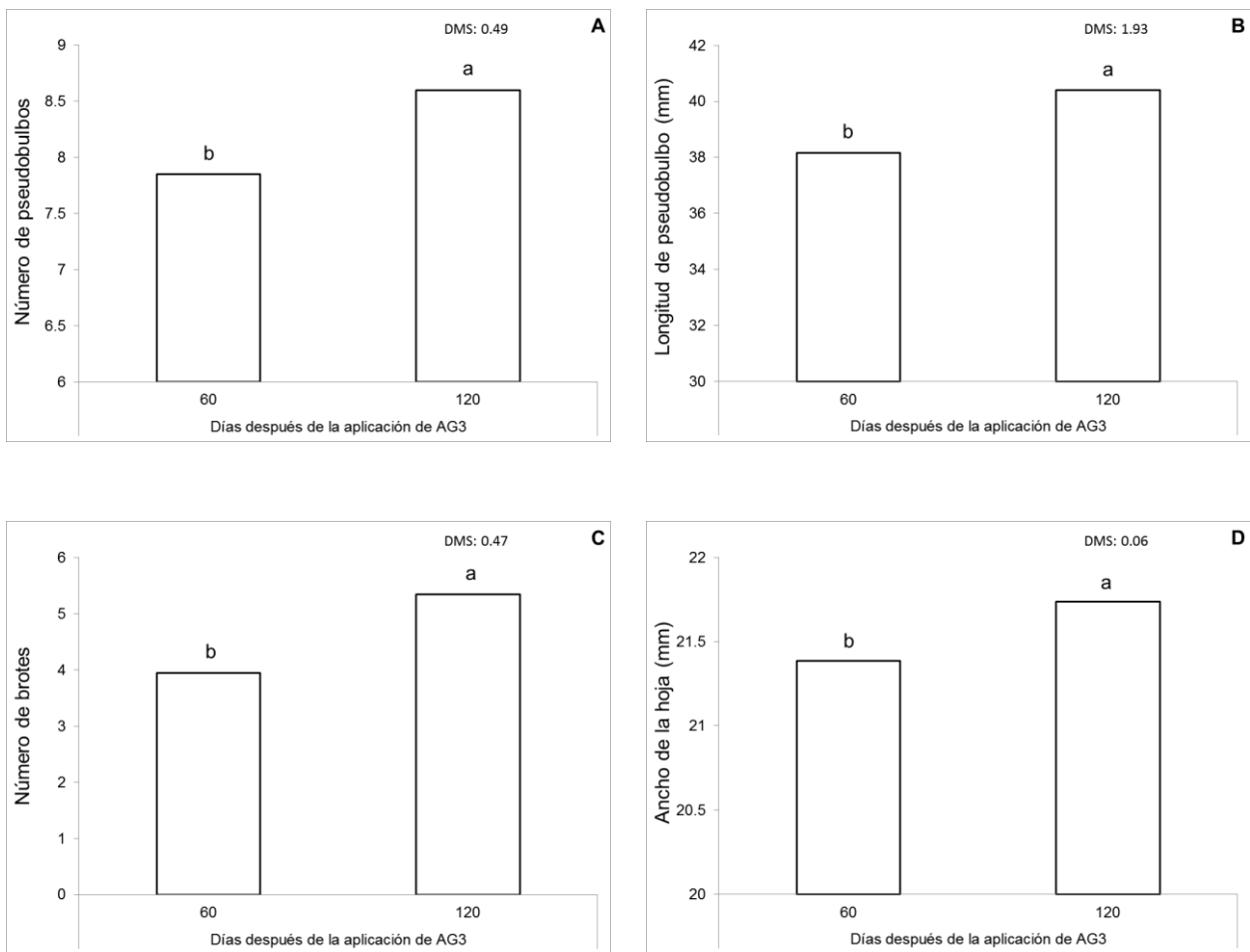


Figura 21. Dinámica de la formación de pseudobulbos, brotes y hojas en plantas de *Cymbidium* sp. después de la aplicación de ácido giberélico (AG₃) en el cuarto ensayo. A) número de pseudobulbos, B) longitud del pseudobulbo, C) número de brotes y D) ancho de la hoja. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

Por efecto del ácido giberélico en el número de pseudobulbos de *Cymbidium* sp., se obtuvo un incremento de 6 (testigo) a 9.4 pseudobulbos en el tratamiento con 5 mg L⁻¹ (Figura 22). El incremento en el número de pseudobulbos parece ser importante en la transición a la madurez de la planta. De acuerdo con Thomas y Vince-Prue (1997), cuando el tamaño de la planta es suficiente transmite una o muchas señales al ápice, para someterse a un cambio de fase.

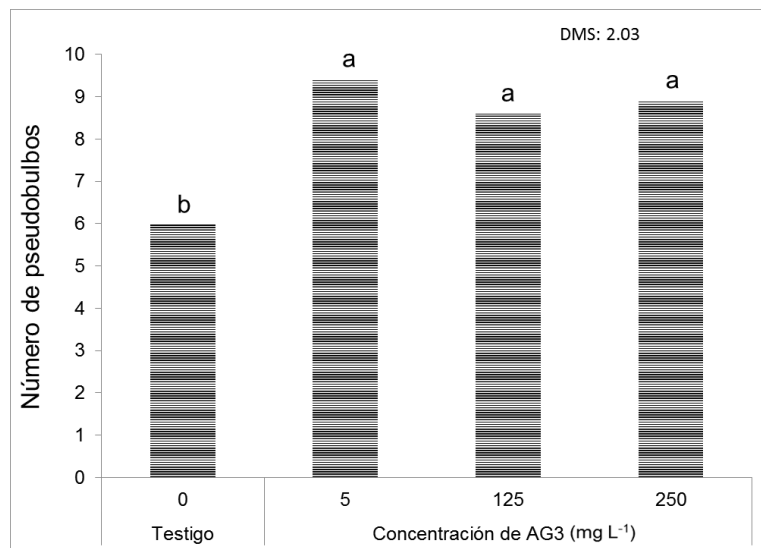


Figura 22. Efecto de las diferentes concentraciones de ácido giberélico (AG₃) sobre el número de pseudobulbos en plantas de *Cymbidium* sp. del cuarto ensayo. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

El número de hojas por pseudobulbo fue mayor en las plantas asperjadas con 5 mg L⁻¹ de AG₃; Sin embargo, este tratamiento fue estadísticamente similar al testigo y a 250 mg L⁻¹, pero superior a 125 mg L⁻¹ (Figura 23).

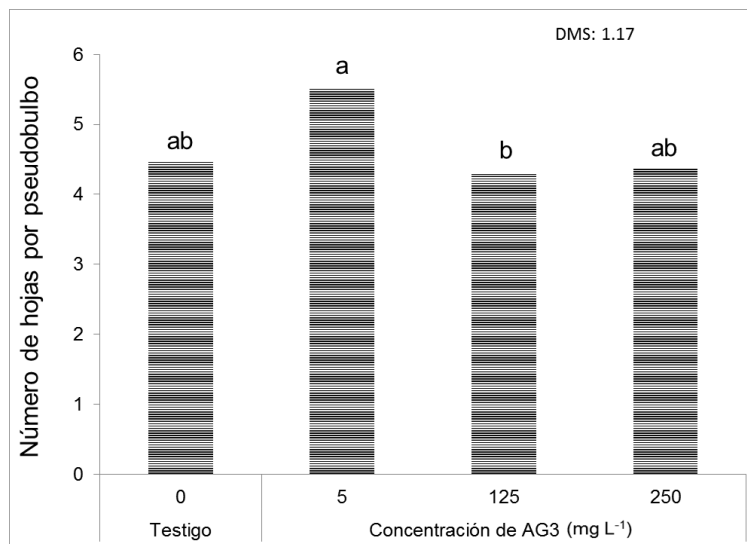


Figura 23. Respuesta de las diferentes concentraciones de AG₃ sobre el número de hojas por pseudobulbo de plantas de *Cymbidium* sp. del cuarto ensayo. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

La longitud de la hoja aumentó 9 % por efecto de la concentración de 5 mg L⁻¹ de AG₃ con relación al tratamiento testigo; sin embargo, al incrementar la dosis a 250 mg L⁻¹ la longitud de la hoja disminuyó 11 % (Figura 24).

En las plantas del género *Cymbidium* es deseable un incremento en el número de hojas, su longitud y ancho es deseable porque se aumenta el área fotosintética y se incrementa la producción de energía. Para la inducción floral en *Phalaenopsis* es necesario que la planta genere cantidades altas de energía (Cardoso *et al.*, 2012). Además se ha demostrado la importancia de mantener una formación mínima de hojas antes de la iniciación floral para obtener plantas de calidad; En *Cymbidium* florecieron 80 % de las plantas que tenían 38 hojas en promedio (Kim *et al.*, 2011) comparadas con las 18 – 22 para *Antirrhinum* (Cockshull, 1985), 16 para *Coreopsis* (Cameron *et al.*, 1996) y 6 – 7

para *Pericallis* (Yeh and Atherton, 1997). Efectos contrarios se encontraron en *Rynchosstylis gigantea*, en la que al aplicar 3000 ppm de AG₃ el número de hojas disminuyó 23 % en comparación con el tratamiento testigo (Phengphachanh *et al.*, 2012).

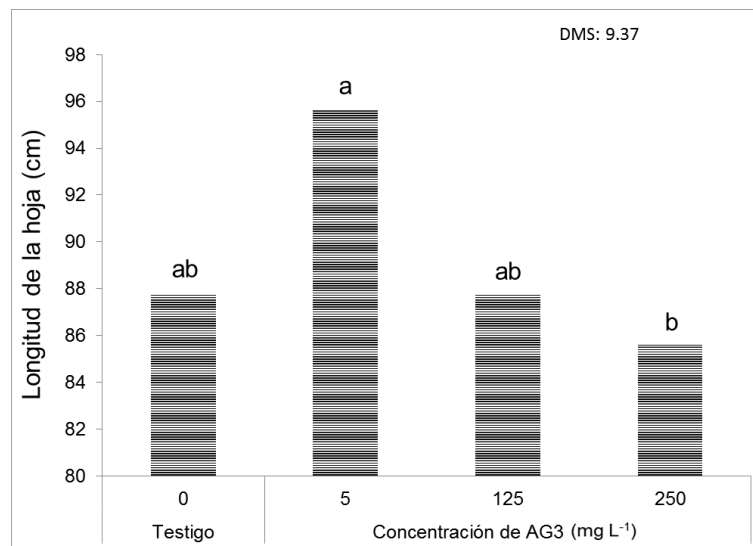


Figura 24. Efecto del ácido giberélico (AG₃) en la longitud de la hoja de plantas de *Cymbidium* sp. del cuarto ensayo. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

El número de brotes se incrementó con la aplicación de AG₃. La dosis de 125 mg L⁻¹ mostró el doble de brotes que el tratamiento sin AG₃ (5.9 y 3 respectivamente) (Figura 25). La formación y crecimiento de nuevos brotes depende en parte de los nutrientes movilizados de los pseudobulbos maduros por lo que mayor número de pseudobulbos resulta en el incremento del número de brotes. Para obtener plantas de orquídeas *Oncidium* de calidad se requiere un crecimiento juvenil vigoroso, con numerosos nuevos brotes y pseudobulbos maduros (Hew y Yong, 2004).

En este estudio las aplicaciones de AG₃ promovieron el crecimiento vegetativo de las plantas de *Cymbidium* al incrementar el número de brotes, pseudobulbos y hojas por

pseudobulbo y así lograr el tamaño de planta requerido para la iniciación floral; sin embargo, durante el tiempo que se evaluó el experimento, no se presentó floración en ninguno de los tratamientos evaluados probablemente debido a que las plantas aun no habían cumplido con el periodo de juvenilidad requerido por estas, además de que las condiciones climáticas no fueron las adecuadas para la inducción floral. *Cymbidium* requiere un descenso en la temperatura nocturna (max 12 °C) para iniciar la formación de flores (Du puy y Cribb, 2007). Las temperaturas nocturnas en el invernadero para esa etapa de desarrollo fueron altas (12.8 °C). En orquídeas como *Cattleya*, *Cymbidium*, *Dendrobium*, *Miltoniopsis*, *Phalaenopsis* y *Zygopetalum*, para que la floración sea posible, deben llegar a una determinada fase de crecimiento o madurez. De este modo, la reproducción sexual se retrasa hasta que las plantas alcanzan el tamaño suficiente para mantener las demandas energéticas de la floración y la producción de semillas (López y Runkle, 2005). Cuando una planta es prematuramente expuesta a las condiciones reproductivas antes de terminar su etapa juvenil, la planta puede no estar habilitada para soportar flores de calidad y además disminuye la uniformidad de la floración (Kim *et al.*, 2011). Además la floración de las plantas depende de una complicada red de señalización molecular que les sirve para percibir las condiciones ambientales (como la longitud de los días y la temperatura) y factores endógenos (como el estado nutricional y ciertas hormonas) y a través de la integración de estas señales decidir el mejor momento del año para florecer (Blazquez *et al.*, 2011).

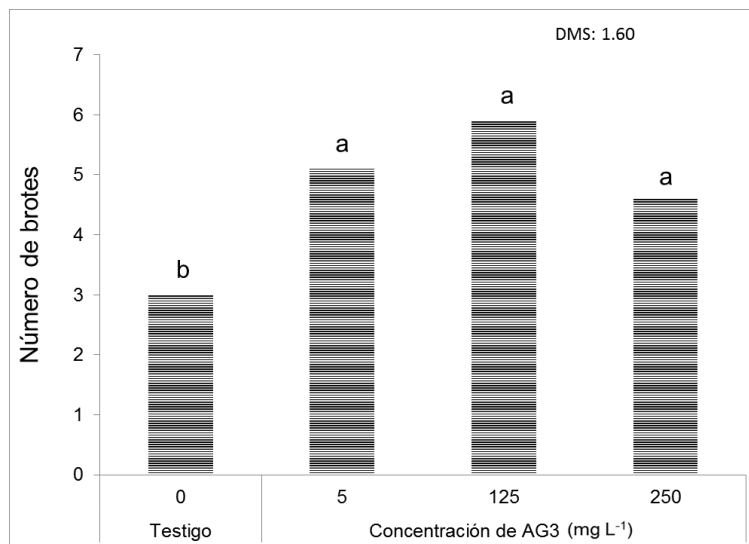


Figura 25. Influencia de las diferentes concentraciones de ácido giberélico (AG₃) sobre el número de brotes en plantas de *Cymbidium* sp. del cuarto ensayo. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

Las diferentes dosis de AG₃ aplicadas modificaron las lecturas SPAD. El testigo exhibió el mejor resultado (49.46) mientras que 5 mg L⁻¹ fue el más bajo (42.85) (Figura 26). Lo que indica que aplicar 5 mg L⁻¹ de giberelinas en esta orquídea provoca la disminución del contenido de nitrógeno en la planta. El contenido de Nitrógeno en las hojas está estrechamente asociado a las lecturas del SPAD 502 Minolta, el cual mide el verdor de las hojas (Errecart *et al.*, 2012).

En *Cymbidium* (Uribe *et al.*, 2014) obtuvo coeficientes de determinación altamente significativos ($p < 0.001$) para la clorofila a ($r^2 = 0.89$), clorofila b ($r^2 = 0.88$), clorofila total ($r^2 = 0.89$) y nitrógeno total ($r^2 = 0.89$), por lo que las ecuaciones de predicción determinadas a partir de los análisis de regresión pueden ser utilizadas para estimar la concentración de clorofila extractable (a, b y total) y N a partir de las lecturas del SPAD

502, lo que indica que efectivamente el incremento de las lecturas SPAD está asociado a una mayor concentración de clorofila a, clorofila b, clorofila total, expresada en mg de clorofila g de materia seca-1 y % de N en hojas de *Cymbidium* sp.

Este efecto negativo en las hojas causado por el AG₃ puede ser inhibido mediante la aplicación de una fertilización con nitrógeno.

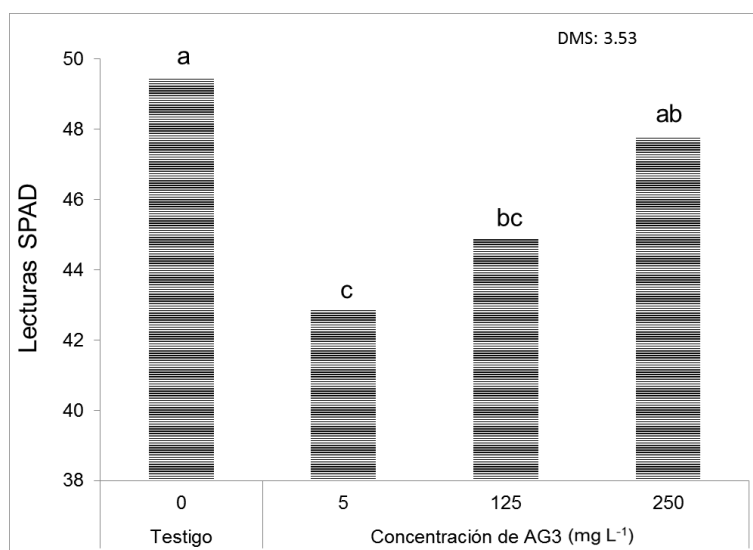


Figura 26. Lecturas SPAD en relación a las diferentes dosis de ácido giberélico (AG₃) en plantas de *Cymbidium* sp. del cuarto ensayo. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

IV. CONCLUSIONES

Dosis mayores de 125 mg L^{-1} de ácido giberélico (AG_3) provocan fitotoxicidad en plantas de *Cymbidium* sp. en etapa juvenil.

Con 5 mg L^{-1} de AG_3 se estimula el desarrollo vegetativo de esta orquídea al incrementar el número de pseudobulbos, de hojas y el ancho de las mismas.

Aplicaciones de 5 mg L^{-1} de AG_3 disminuyen la concentración de nitrógeno en *Cymbidium* sp.

V. LITERATURA CITADA

- Albert N., W. Arathoon A., V. Collette E., K. Schwinn E., E. Jameson P., D. Lewis H., Zhang H., K. Davies M. (2010)** Activation of anthocyanin synthesis in *Cymbidium* orchids: variability between known regulators. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 100: 355-360.
- Azcón-Bieto J., M. Talón (2000)** Fundamentos de Fisiología Vegetal. McGraw-Hill Interamericana. Barcelona, 522p.
- Blázquez M. A., M. Piñeiro, F. Valverde (2011)** Bases moleculares de la floración. *Investigación y Ciencia* 3 (3): 1-12.
- Cameron A. M., Heins Y. R., Carlson W (1996)** Juvenility: your perennial crop's age affects flowering. *GrowerTalks* 60: 30-32.
- Cardoso J. C., E. O. Ono, J. D. Rodrigues (2010)** Gibberellic acid and water regime in the flowering induction of *Brassocattleya* and *Cattleya* hybrid orchids. *Horticultura Brasileira* 28: 395-398.
- Cardoso J. C., E. O. Ono, J. D. Rodrigues (2012)** Gibberellic acid in vegetative and reproductive development of *Phalaenopsis* orchid hybrid genus. *Horticultura Brasileira* 30: 71-74.
- Cardoso J. C., W. B. Crocomo, C. G. Raetano (2005)** Pragas das orquídeas: identificação, controle e manejo. Pompéia: Bless Gráfica e Editora, 140p.
- Cid L. P. B. (2000)** Introdução aos hormônios vegetais. Brasília: Embrapa CENARGEN, 180p.

Cockshull K. E. (1985) *Antirrhinum majus*. In Halevy A. H. (Ed.) Handbook of Flowering, CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Du Puy D., J. Cribb P. (2007) The Genus *Cymbidium*. Royal Botanic Gardens, Kew. UK. Publishing. 369 p.

Errecart M. P., M. G. Agnusdei, F. A. Lattanzi, M. A. Marino (2012) Leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings as predictors of tall fescue nitrogen nutrition status. *Field Crops Research* 129: 46–58.

Hew C. S., J. W. H. Yong (2004) The Physiology of Tropical Orchids in Relation to the Industry. (2nd ed.). World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore. 329 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.

Juárez H. M. J., G. Baca C., L. A. Aceves N., P. Sánchez G., J. L. Tirado T., J. Sahagún C., M. T. Colinas L. (2006) Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. *Interciencia* 31(004):245-253.

Kim Y. J., H. J. Lee, K. S. Kim (2011) Night interruption promotes vegetative growth and flowering of *Cymbidium*. *Scientia Horticulturae* 130: 887–893.

López R. G., S. Runkle E. (2005) Environmental physiology of growth and flowering of orchids. *HortScience* 40(7): 1969-1973.

Matsumoto T. K. (2006) Gibberellic acid and benzyladenine promote early flowering and vegetative growth of *Miltoniopsis* orchid hybrids. *HortScience* 41(1): 131-135.

- Miguel T. P., W. S. Sakai, J. Fang (2008)** Giberelic acid induced flowering of *Paphiopedilum* (Macabre × glanduliferum). *Acta Horticulturae* 766:279-282.
- Ng C. K. Y., C. S. Hew (2000)** Orchid pseudobulbs- “false” bulbs with a genuine importance in orchid growth and survival! *Scientia Horticulturae* 83: 165-172.
- Phengphachanh B., D. Naphrom, W. Bundithya, N. Potapohn (2012)** Effects of day-length and gibberellic acid (GA₃) on flowering and endogenous hormone levels in *Rhynchosyilis gigantea* (Lindl.) Ridl. *Journal of Agricultural Science* 4(4):1916-9752.
- Steiner A. A. (1984)** The universal nutrient solution. *In*: Proceedings of Sixth International Congress on Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands. pp. 633-649.
- Thomas B., D. Vince-Prue (1997)** Photoperiodism in plants. London: Academic Press.
- Uribe T. A. (2014)** Relación K⁺/Ca²⁺, periodos de fertilización y riego en el desarrollo de *Cymbidium* sp. Tesis Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Uruapan, Michoacán, México. 136 p.
- Wen-Shaw C., C. Hsueh-Wen, C. Wen-Huei, L. Yih-Shyan (1997)** Gibberellic acid and cytokinin affect *Phalaenopsis* flower morphology at high temperature. *HortScience* 32(6): 1069-1073.
- Yeh D. M., Atherton J. G (1997)** Manipulation of flowering in cineraria. *Journal Horticultural Science*. 72: 55-66.

CAPÍTULO III. EL FOTOPERÍODO Y EL ÁCIDO GIBERÉLICO EN LA INDUCCIÓN FLORAL DE *Cymbidium* sp.

RESUMEN

La diferenciación floral en orquídeas depende de algunos factores como el fotoperíodo, la intensidad luminosa, la temperatura, el suministro de agua y las hormonas presentes en la planta, entre otros. El manejo de estos elementos solos o combinados puede constituir una herramienta importante en la producción de estas flores a nivel comercial. En la presente investigación se estudió el efecto del fotoperíodo y el ácido giberélico (AG_3) sobre el desarrollo y la inducción floral de plantas adultas de *Cymbidium* sp. Se establecieron 16 tratamientos originados a partir de un diseño de tratamientos factorial 4 x 4 con cuatro tipos de fotoperíodo (fotoperíodo natural con 13 h de luz y 11 h de oscuridad (FNSI), y fotoperíodo de 9 h luz y 15 h de oscuridad (FMSI), con y sin interrupción de la noche (FNCl y FMCl, respectivamente) y cuatro concentraciones de AG_3 (0, 5, 125 y 250 mg L⁻¹). El tipo de fotoperíodo FMCl incrementó el diámetro del pseudobulbo y el número de hojas por brote (4.1 y 9.7 %, respectivamente) y presentó el mayor número de escapos (1.8 escapos) sin embargo, también mostró el menor número de brotes (2.8 brotes). La aplicación de AG_3 incrementó el diámetro de pseudobulbos (6.5 % con 125mg L⁻¹) y el número de hojas (12 % con 250 mg L⁻¹). La longitud del pseudobulbo disminuyó 6 % con el FNCl y 250 mg L⁻¹ de AG_3 , el número de pseudobulbos se incrementó 42 % con el FMCl y 125 mg L⁻¹ de AG_3 y las lecturas SPAD más altas (64.52) se encontraron a los 120 días después de la aplicación en el FMSI y sin AG_3 . Con relación a la floración, el mayor número de inflorescencias (2.14) se obtuvo con el FMCl y el menor diámetro del escapo (8.7 mm) con el FMSI y con el AG_3 a 250 mg L⁻¹ la longitud de la inflorescencia se incrementó 9 % comparado con el testigo.

Palabras clave: fitohormonas, fotoperíodo, inducción floral, orquídeas.

CHAPTER III. PHOTOPERIOD AND GIBBERELIC ACID IN THE *Cymbidium* sp

FLORAL INDUCTION.

ABSTRACT

The floral difference between orchids may depend on various factors as the photoperiod, the light intensity, the temperature, watering and the phytohormones. The management of the elements, alone or combine, can become an important factor for the floral production in a commercial scale. In the present investigation the photoperiod and the GA₃ effect were studied according to the influence that these can have over the growth process and floral induction in older plants of *Cymbidium* sp. There were 16 treatments established and originated from a single factorial design of treatments 4x4 with four kinds of photoperiod (natural period with 13 h of light and 11 h of darkness (FNSI) and a photoperiod of 9 h of light and 15 h of darkness (FMSI), with and without interruption during the night time (FNCI) and (FMCI) respectively) and four GA₃ concentrations (0, 5, 125 and 250 mg L⁻¹). The FMCI increased the diameter of the pseudobulb and the number of leaves by sprout (4.1 and 9.7 % respectively) and presented a major number of floral escapes (1.8 floral escapes). Nevertheless, it also showed a minor number of sprouts (2.8 sprouts). The application of GA₃ increased the diameter of the pseudobulbs (6.5 % with 125mg L⁻¹) and the leaves number (12 % with 250 mg L⁻¹), the length of the pseudobulbs decreased 6 % with the FNCI and 250 mg L⁻¹ of GA₃, the number of pseudobulbs increased 42 % with the FMCI and 125 mg L⁻¹ of GA₃ and the highest SPAD readings (64.53) were found 120 days after FMSI was applied and without GA₃. In connection with the flowering, the highest number of inflorescence (2.14) was obtained with the FMCI and the minor diameter of floral escape (8.7 mm) with FMSI and with 250 mg L⁻¹ GA₃ the length of the inflorescence increased 9 % in comparison with the witness.

I. INTRODUCCIÓN

El fotoperíodo implica las variaciones de luz y oscuridad sobre el desarrollo y la floración de las plantas fotoperiódicas. En las plantas de noche larga, la floración se da en respuesta a períodos largos de oscuridad y períodos cortos de luz, mientras que la floración de plantas de noche corta es promovida por períodos cortos de oscuridad y largos de luz (Kim *et al.*, 2011). El fotoperíodo se puede controlar artificialmente, mediante la interrupción de la noche se rompe un período largo y oscuro para brindar una iluminación fotoperiódica adecuada para la floración de plantas de noche corta; esta técnica se usa en horticultura por su consumo de energía bajo (Vince-Prue y Canham, 1983). Sin embargo el fotoperíodo no es el único factor que influye en la floración, porque la inducción floral depende de la integración de otras rutas de señalización como la temperatura y de factores endógenos como las fitohormonas, que solo cuando superan cierto nivel umbral pueden activar el programa de desarrollo floral (Blázquez *et al.*, 2011).

Los factores endógenos desencadenan una ruta en la inducción floral basada en los azúcares circulantes y en las giberelinas. Plantas de *Arabidopsis* con una escasa síntesis o percepción de las giberelinas florecen más tarde en condiciones de día largo, e incluso no florecen en lo absoluto cuando el día es corto. Lo que hace suponer que las giberelinas permitirían asegurar la floración en casos de ausencia de estímulos ambientales (Blázquez *et al.*, 2011).

La inducción floral de orquídeas también está influida por otros factores como la temperatura, la irradiación, el suministro de agua y las hormonas presentes en la planta. El manejo de estos factores solos o combinados pueden producir un efecto sobre el desarrollo. En estudios previos se ha observado que plantas de los géneros *Cattleya*,

Dendrobium, *Miltoniopsis* y *Zigopetalum* responden al fotoperíodo de noche larga para inducir la floración (López y Runkle, 2005).

La inflorescencia de *Cymbidium* inicia a finales de verano y principios de otoño bajo días largos naturales (> 16 h) y temperatura baja (< 25 °C), en plantas que se encuentran al final del crecimiento juvenil (Kim *et al.*, 2011).

En las regiones de México donde se produce *Cymbidium* (Veracruz, Estado de México, Chiapas y Michoacán) algunas veces no se cumple con las condiciones de luminosidad y temperatura que requiere esta especie y las plantas solo florecen una vez al año y muchas veces no coincide con las fechas importantes de venta. En el género *Cymbidium* plantas expuestas a un fotoperíodo de noche larga (9/15 h de luz/oscuridad) de manera simultánea con interrupción de la noche, mostraron una inducción de floración en la totalidad de las plantas expuestas a este tratamiento (Kim *et al.*, 2011). En relación al ácido giberélico no se han realizado estudios para determinar su efecto en la floración de esta orquídea. Sin embargo, en las orquídeas *Miltoniopsis* (Matsumoto, 2006) y *Brassocattleya* “Marcella Koss” (Cardoso *et al.*, 2010) aplicaciones de ácido giberélico promovieron floraciones tempranas e incrementaron el número de inflorescencias y el número y tamaño de las flores.

La orquídea *Cymbidium* es originaria de las montañas del Hymalaya, donde crece de manera natural y se ha expandido gradualmente a otras partes del mundo, incluyendo Europa y América del Norte (Pridgeon, 2000; Wu *et al.*, 2010). A pesar de ser plantas que crecen muy lentamente y tienen un período juvenil largo (Hye, 2012), son popularmente vendidas como flor cortada y plantas en maceta.

Por todo lo anterior y ya que en la región la floración es muy poco predecible, este trabajo tuvo como objetivo conocer el efecto del fotoperíodo y el ácido giberélico sobre la inducción floral de plantas adultas de *Cymbidium* sp.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización del sitio experimental

El presente trabajo se desarrolló en la ciudad de Uruapan Michoacán, que se localiza entre los 19°23'41.15" de latitud norte y 102°03' 31.44" de longitud oeste, a 1599 m de altitud.

2.2. Material vegetal

Se utilizaron 80 plantas de orquídeas del género *Cymbidium* de cuatro años de edad con un promedio de 11 pseudobulbos cultivadas en maceta de 11 L con sustrato inerte (tezonle).

2.3 Ensayos realizados

2.3.1. Primer ensayo

En un primer ensayo, se establecieron cinco tratamientos originados a partir de un diseño de tratamientos factorial 2 x 2 y un testigo sin ácido giberélico (AG₃). Los factores de estudio fueron dosis de AG₃ (250 y 500 mg L⁻¹) y número de aplicaciones (1 y 2). Cada tratamiento se repitió cinco veces, la unidad experimental fue una planta.

2.3.2. Segundo ensayo

Con base en el ensayo anterior, en donde no se observaron resultados estadísticos significativos, se realizó otro experimento con dosis mas bajas para determinar la dosis óptima de ácido giberélico. Las concentraciones de AG₃ utilizadas fueron 5, 60 y 125 mg L⁻¹ y se utilizó un testigo sin AG₃. Cada tratamiento se repitió cinco veces, la unidad experimental fue una planta.

2.3.3. Tercer ensayo

Para estudiar el efecto combinado del fotoperíodo y el ácido giberélico en la inducción floral de plantas adultas, se establecieron 16 tratamientos originados por la combinación de dos factores de estudio: fotoperíodo (natural con 13 h de luz y 11 h de oscuridad (FNSI), y uno modificado con 9 h luz y 15 h de oscuridad (FMSI), con y sin interrupción de la noche (FNCI y FMCI, respectivamente)) y dosis de AG₃ (5, 125 y 250 mg L⁻¹) (Cuadro 1). El testigo, sin AG₃ se utilizó en cada una de las combinaciones de fotoperíodo con interrupción de la noche. Las plantas se cubrieron con plástico negro de las 18:00 a las 7:00 h para proporcionar las horas de oscuridad necesarias. La interrupción de la noche se efectuó de las 22:00 a las 2:00 h con tres luminarias de LEDs blancos marca Lights of América® de 32 watts que proporcionaron 120 μmol·m⁻²·s⁻¹ de intensidad.

Cuadro 1. Relación de tratamientos a los que se expusieron las plantas de *Cymbidium* sp. para estudiar el efecto del fotoperíodo y el ácido giberélico (AG₃).

| Tratamiento | Factor Fotoperíodo | Factor AG ₃ (mg L ⁻¹) |
|-------------|--|--|
| 1 | Fotoperíodo natural sin interrupción de la noche | FNSI |
| 2 | (13 h luz/11 h oscuridad) | 13 h 11 h |
| 3 | | |
| 4 | | 0 |
| 5 | | 5 |
| 6 | | 125 |
| 7 | | 250 |
| 8 | Fotoperíodo natural con interrupción de la noche | FNCI |
| 9 | (17 h luz/7 h oscuridad) | 13 h 2 h 4 h 5 h |
| 10 | | |
| 11 | | 0 |
| 12 | | 5 |
| 13 | | 125 |
| 14 | | 250 |
| 15 | Fotoperíodo modificado sin interrupción de la noche (9 h luz/ 15 h oscuridad) | FMSI |
| 16 | | 9 h 15 h |
| 17 | | |
| 18 | | 0 |
| 19 | | 5 |
| 20 | | 125 |
| 21 | | 250 |
| 22 | Fotoperíodo modificado con interrupción de la noche (13 h luz/ 11 h oscuridad) | FMCI |
| 23 | | 9h 4 h 4 h 7 h |
| 24 | | |
| 25 | | 0 |
| 26 | | 5 |
| 27 | | 125 |
| 28 | | 250 |

Las plantas se cultivaron en un invernadero tipo cenital con cubierta plástica y estructura de acero galvanizado, ventilación lateral con malla anti-afidos, con cuatro ventiladores y malla con 80 % de sombra. Los registros ambientales promedio durante el experimento fueron: temperatura y humedad relativa diurnas de 26 °C y 47 %, respectivamente y temperatura y humedad relativa nocturnas de 15 °C y 80 %, respectivamente.

Durante todo el experimento, las plantas se regaron con Solución Universal Steiner (1984) a 40 % de la concentración total de sales minerales, con la siguiente concentración y relación de aniones y cationes expresada en meq L⁻¹: 4.8 de NO₃⁻, 0.4 de H₂PO₄⁻, 2.8 de SO₄²⁻ y 2.8 de K⁺, 1.6 de Ca²⁺, 1 de Mg²⁺. Las soluciones se prepararon con

fertilizantes comerciales solubles, para ello se tomó en cuenta el contenido de sales en el agua del grifo (NO_3 , H_2PO_4 , SO_4^{2-} , K^+ , Mg^{2+} , 0.09, 0.02, 0.46, 0.70 y 0.56 meq L^{-1} , respectivamente). Se adicionaron 10 mg L^{-1} de Kelatex® a la solución como fuente de micronutrientes. El pH se ajustó a 5.6-5.7 y el potencial osmótico a -0.036 MPa, con el método propuesto por Juárez *et al.* (2006).

En los primeros dos ensayos se usó el diseño experimental completamente al azar, para el tercero se utilizó el diseño de bloques al azar, utilizando como factor de bloqueo el número de pseudobulbos. Se utilizaron cinco repeticiones y la unidad experimental consistió de una planta.

2.4. Variables evaluadas

Se registraron el número de pseudobulbos (incluidos jóvenes, maduros y senescentes), el número de hojas por pseudobulbo, el diámetro y largo del pseudobulbo, el número de brotes (emergiendo, jóvenes y maduros), el número de hojas por brote, la longitud y el diámetro de brotes. También se registró el tiempo de aparición de nuevos pseudobulbos desde el inicio de los tratamientos. El contenido de clorofila se determinó de manera indirecta mediante lecturas SPAD (en el segundo par de hojas de un pseudobulbo recientemente maduro) utilizando un medidor portátil Minolta SPAD-502. Durante la floración se registraron los tiempos de aparición de inflorescencias visibles, que se consideró en el momento en que el primer florete se mostró totalmente abierto; se midió también número de inflorescencias, número de flores por inflorescencia, la longitud y diámetro del escapo floral, el número de nudos por escapo, la longitud de la inflorescencia, la longitud y el diámetro de la flor (Figura 1).

2.5. Análisis estadístico de datos

Se realizaron análisis de varianza (ANDEVA) y pruebas de comparación de medias en los casos que hubo significancia estadística con el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0.

Para las comparaciones de medias se utilizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

La prueba de Duncan ($p \leq 0.05$) se utilizó solo para la comparación de medias de la variable lecturas SPAD. Para las variables en las cuales hubo repeticiones en el tiempo, se utilizó un análisis combinado en modelo de parcelas divididas, donde las fechas de medición constituyeron las parcelas grandes y los tratamientos, las chicas.

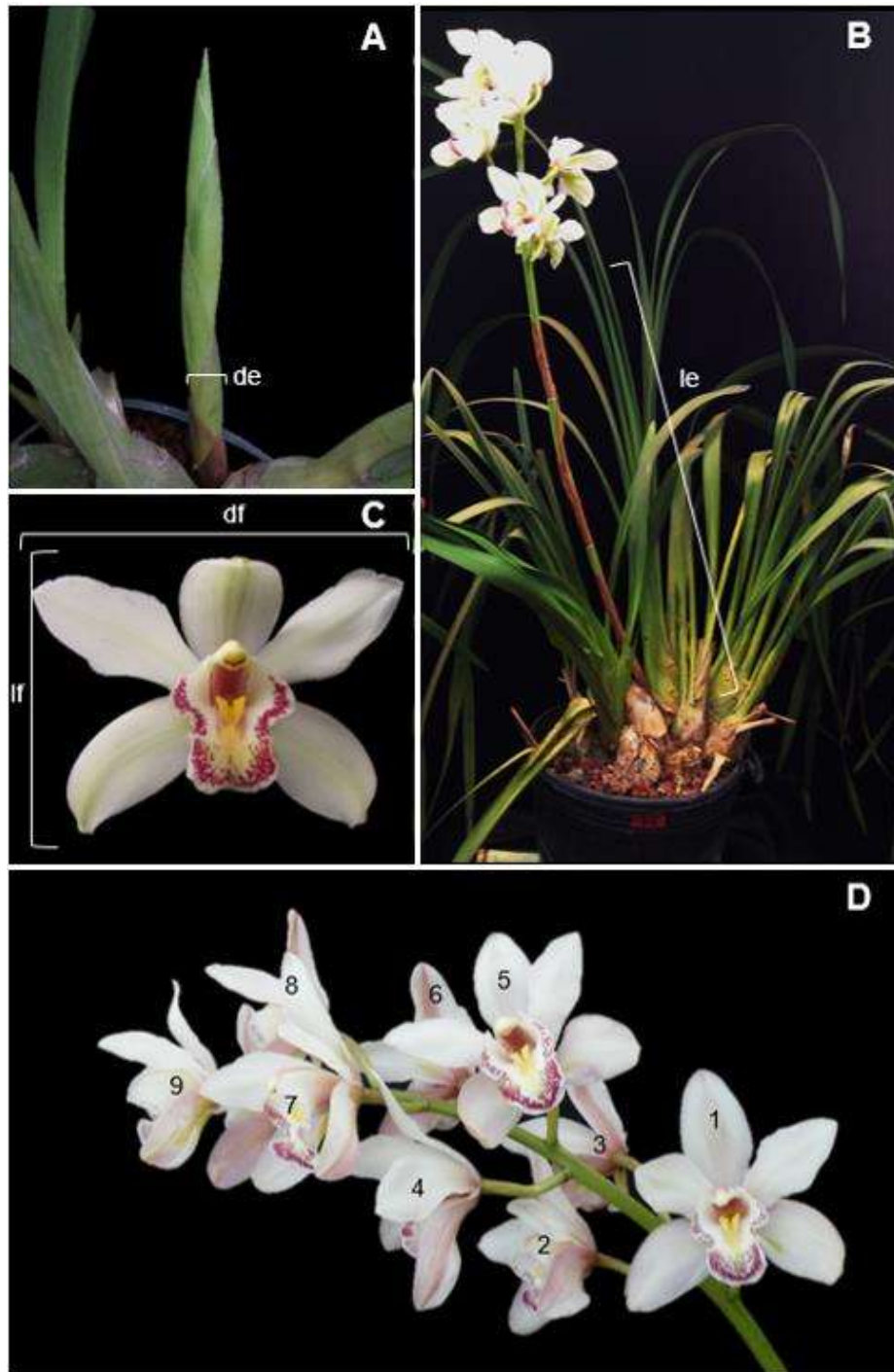


Figura 1. Órganos de *Cymbidium* sp. donde se evaluaron: A) Escapo floral, B) longitud, diámetro y número de nudos en escapos florales, C) longitud y diámetro de la flor, D) inflorescencia y el número de sus flores, de = diámetro del escapo, lf = longitud de la flor, df = diámetro de la flor y le = longitud del escapo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Primer ensayo

En el primer ensayo, no se encontraron resultados estadísticamente significativos para ninguna de las variables evaluadas por el efecto de la concentración de AG₃ ni del número de aplicaciones (Cuadro 2), lo que probablemente ocurrió porque al momento de la aplicación de los tratamientos (noviembre) la inducción a floración en la planta ya estaba dada. Esta hipótesis se sustenta en el hecho de que 30 dda de AG₃, comenzó la emergencia de escapos florales en 76 % de las plantas.

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para el efecto de la concentración y el número de aplicaciones de ácido giberélico (AG₃) sobre la floración en *Cymbidium* sp. a los 120 días después de la aplicación.

| Factor de variación | Grados de libertad | Días | Número de flores | Longitud del escapo | Diámetro del escapo | Número de nudos del escapo | Longitud de la inflorescencia | Diámetro de la flor | Longitud de la flor |
|--|--------------------|------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------|
| Concentración de ácido giberélico (AG ₃) | 2 | 120 | 0.80 ^{NS} | 4.35 ^{NS} | 0.51 ^{NS} | 0.12 ^{NS} | 27.76 ^{NS} | 16.76 ^{NS} | 37.17 ^{NS} |
| Número de aplicaciones (NA) | 1 | 120 | 1.33 ^{NS} | 0.02 ^{NS} | 0.18 ^{NS} | 0.08 ^{NS} | 3.52 ^{NS} | 3.03 ^{NS} | 4.34 ^{NS} |
| AG ₃ *NA | 1 | 120 | 1.33 ^{NS} | 35.02 ^{NS} | 0.27 ^{NS} | 2.08 ^{NS} | 11.02 ^{NS} | 0.16 ^{NS} | 3.04 ^{NS} |

NS = no significativa

Al evaluar el efecto del ácido giberélico en la floración se observaron daños en las plantas, que consistieron en clorosis de hojas y pseudobulbos, por lo que para el siguiente ensayo se redujeron las concentraciones de AG₃ aplicadas. Se ha documentado que el AG₃ en

concentraciones de 3000 ppm causa la disminución en 23 % del número de hojas por planta en plantas de *Rhynchosyilis gigantea* (Lindl.) Ridl. (Phengphachanh *et al.*, 2012).

3.2. Segundo ensayo

En el segundo ensayo, a los 30 y 90 días después de la aplicación de los tratamientos, las diferentes dosis de ácido giberélico aplicadas (5, 60 y 125 mg L⁻¹) no mostraron efectos significativos para ninguna de las variables evaluadas. Las variables número de pseudobulbos y ancho de la hoja presentaron diferencias estadísticas significativas entre repeticiones (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cuadros medios de los análisis de varianza combinados (cuatro tratamientos y dos fechas de medición) realizados para el segundo ensayo.

| Factor de variación | Grados de libertad | NP | NHP | NB | NHB | LH (cm) | AH (mm) | AHB (mm) |
|-------------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| Fecha de medición (FM) | 1 | 1.56 ^{NS} | 1.18 ^{NS} | 2.25 ^{NS} | 0.22 ^{NS} | 14.06 ^{NS} | 1.59 ^{NS} | 1.32 ^{NS} |
| Repeticion (Rep) | 1 | 39.06 [*] | 0.00 ^{NS} | 9.00 ^{NS} | 1.03 ^{NS} | 7.56 ^{NS} | 67.86 [*] | 0.00 ^{NS} |
| FM*Rep | 1 | 0.56 ^{NS} | 0.08 ^{NS} | 1.00 ^{NS} | 1.23 ^{NS} | 0.06 ^{NS} | 0.26 ^{NS} | 0.11 ^{NS} |
| Ácido giberélico (AG ₃) | 3 | 16.90 ^{NS} | 0.79 ^{NS} | 1.42 ^{NS} | 0.41 ^{NS} | 101.19 ^{NS} | 14.23 ^{NS} | 6.56 ^{NS} |
| FM*AG ₃ | 3 | 0.23 ^{NS} | 0.21 ^{NS} | 0.42 ^{NS} | 2.34 ^{NS} | 20.02 ^{NS} | 2.05 ^{NS} | 3.85 ^{NS} |

(NS) no significativa, * = P ≤ 0.05, ** = P ≤ 0.01

De acuerdo con el Cuadro 3, durante el tiempo en que se evaluó este experimento, el crecimiento de las plantas fue mínimo, lo que indica que las concentraciones de este experimento fueron demasiado bajas, lo que hizo necesario volver a incrementar las concentraciones de la fitohormona. Lopez y Runkle (2005) mencionan que la respuesta de los factores que afectan el crecimiento vegetativo y la inducción floral es afectada por

el género y la especie a la cual pertenezcan las orquídeas utilizadas, lo que hace necesario la realización de estudios para determinar las concentraciones óptimas para estimular el crecimiento de *Cymbidium* sp.

3.3. Tercer ensayo

La fecha de medición tuvo efectos significativos en la longitud del pseudobulbo, el número de hojas por brote, la longitud del brote y el número de escapos. El tipo de fotoperíodo mostró influencia en el diámetro del pseudobulbo, el número de brotes y sus hojas y el número de escapos. La concentración de ácido giberélico modificó el número de pseudobulbos, su diámetro y sus hojas. La interacción entre el tipo de fotoperíodo y las diferentes concentraciones de AG₃ influyó significativamente en la longitud del pseudobulbo y las lecturas SPAD (Cuadro 4).

Cuadro 4. Cuadrados medios de los análisis de varianza combinados (cuatro tratamientos de fotoperíodo, cuatro tratamientos de ácido giberélico y dos fechas de medición) realizados para el tercer ensayo.

| Factor de variación | Grados de libertad | NP | NHP | LP (mm) | DP (mm) | NB | NHB | LH (cm) | LB (cm) | AH (mm) | AHB (mm) | Lecturas (SPAD) | NE |
|-------------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| Fecha de medición (FM) | 1 | 12.10 ^{NS} | 0.27 ^{NS} | 395.77* | 11.87 ^{NS} | 1.41 ^{NS} | 6.70* | 3.60 ^{NS} | 2992.90* | 29.65 ^{NS} | 27.63 ^{NS} | 19.18 ^{NS} | 8.10* |
| Repetición (Rep) | 4 | 383.80** | 1.85** | 203.04* | 29.38 ^{NS} | 2.13 ^{NS} | 0.54 ^{NS} | 116.31 ^{NS} | 928.40 ^{NS} | 16.32 ^{NS} | 125.55 ^{NS} | 63.13** | 1.79 ^{NS} |
| FM*Rep | 4 | 0.33 ^{NS} | 0.11 ^{NS} | 21.97 ^{NS} | 14.45 ^{NS} | 0.73 ^{NS} | 3.67 ^{NS} | 16.28 ^{NS} | 478.34 ^{NS} | 15.86 ^{NS} | 73.86 ^{NS} | 21.63 ^{NS} | 0.21 ^{NS} |
| Fotoperíodo (F) | 3 | 5.04 ^{NS} | 0.06 ^{NS} | 88.74 ^{NS} | 76.86** | 5.46* | 5.01* | 131.59 ^{NS} | 1474.75 ^{NS} | 20.29 ^{NS} | 35.95 ^{NS} | 11.52 ^{NS} | 7.90** |
| Ácido giberélico (AG ₃) | 3 | 43.18** | 1.86** | 149.99 ^{NS} | 113.39** | 0.36 ^{NS} | 1.93 ^{NS} | 146.36 ^{NS} | 1200.74 ^{NS} | 4.31 ^{NS} | 24.71 ^{NS} | 3.11 ^{NS} | 2.08 ^{NS} |
| F*AG ₃ | 9 | 7.21 ^{NS} | 0.40 ^{NS} | 159.26* | 25.57 ^{NS} | 1.64 ^{NS} | 2.64 ^{NS} | 66.61 ^{NS} | 254.00 ^{NS} | 12.93 ^{NS} | 123.79 ^{NS} | 28.88** | 1.46 ^{NS} |
| FM*F | 3 | 0.32 ^{NS} | 0.09 ^{NS} | 4.01 ^{NS} | 4.93 ^{NS} | 0.79 ^{NS} | 2.24 ^{NS} | 13.03 ^{NS} | 613.68 ^{NS} | 8.86 ^{NS} | 133.35 ^{NS} | 8.49 ^{NS} | 0.17 ^{NS} |
| FM*AG ₃ | 3 | 0.45 ^{NS} | 0.19 ^{NS} | 25.33 ^{NS} | 0.32 ^{NS} | 0.12 ^{NS} | 0.80 ^{NS} | 7.88 ^{NS} | 1191.08 ^{NS} | 20.80 ^{NS} | 33.43 ^{NS} | 10.20 ^{NS} | 0.02 ^{NS} |
| FM*F*AG ₃ | 9 | 0.27 ^{NS} | 0.06 ^{NS} | 15.79 ^{NS} | 3.55 ^{NS} | 0.15 ^{NS} | 0.67 ^{NS} | 5.89 ^{NS} | 417.10 ^{NS} | 9.91 ^{NS} | 39.37 ^{NS} | 2.51 ^{NS} | 0.42 ^{NS} |

* = $P \leq 0.05$, ** = $P \leq 0.01$, NS = no significativa, NP = número de pseudobulbos, NHP = número de hojas por pseudobulbo, LP = longitud del pseudobulbo, DP = diámetro del pseudobulbo, NB = número de brotes, NHB = número de hojas por brote, LH = longitud de la hoja, LB = longitud de brote, AH = ancho de hoja, AHB = ancho de la hoja del brote y NE = número de escapos.

Número de pseudobulbos

El mayor número de pseudobulbos por planta (16.55 pseudobulbos) se encontró con la concentración de 125 mg L⁻¹ de AG₃ en comparación con el tratamiento testigo (14.08 pseudobulbos) (Figura 2). Mediante la aplicación de 125 mg L⁻¹ de AG₃ se observa un efecto directo en el crecimiento vegetativo y se asegura la iniciación floral. Los pseudobulbos de las orquídeas son encargados de regular procesos fisiológicos importantes para el crecimiento y supervivencia por su habilidad de retener agua, minerales y carbohidratos, además es el centro de distribución de carbono de la planta (Ng y Hew, 2000). El aumento en el número de pseudobulbos es trascendental, ya que nos permite tener una fuente importante de reserva para el siguiente ciclo de desarrollo de inflorescencias y nuevos brotes (Ng y Hew, 2000).

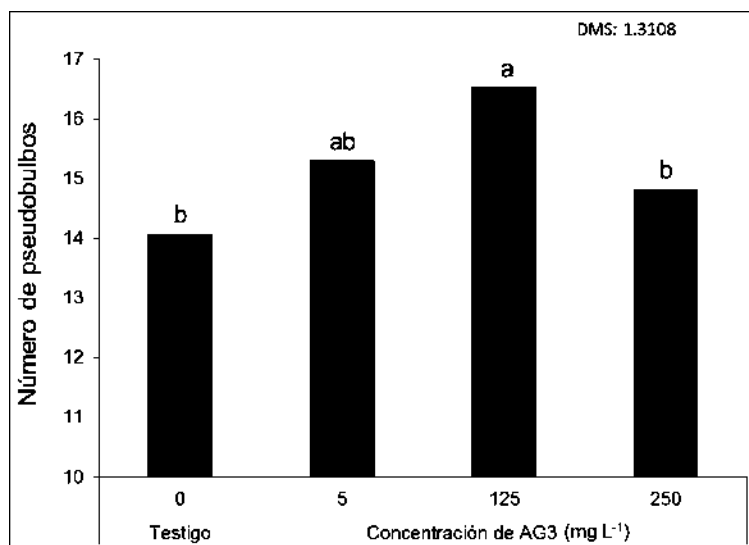


Figura 2. Efecto de la concentración de ácido giberélico (AG₃) sobre el número de pseudobulbos de *Cymbidium* sp. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Número de hojas por pseudobulbo

El número de hojas por pseudobulbo se incrementó conforme aumentó la concentración de ácido giberélico; con las dosis más altas (125 y 250 mg L⁻¹) se formaron 10 y 12 % más hojas, comparado con el tratamiento sin la fitohormona (Figura 3). Este incremento en el número de hojas puede aumentar el área fotosintética de la planta requerida para la alta producción de energía que sostendrá el desarrollo de las inflorescencias y las flores (Taiz y Zeiger, 2009). A través de la translocación de carbohidratos de las hojas a los órganos reproductivos como el pseudobulbo, se puede promover el crecimiento y desarrollo de la planta (Kim *et al.*, 2011). Estos resultados contrastan con los obtenidos por Phengphachanh *et al.* (2012) en la orquídea *Rhynchostylis gigantea*, en la que con aplicaciones de AG₃ se obtuvieron dos hojas menos que con el tratamiento sin la fitohormona, lo que indica que el efecto del ácido giberélico se debe evaluar de manera independiente en cada especie, considerando sus características genéticas y fisiológicas.

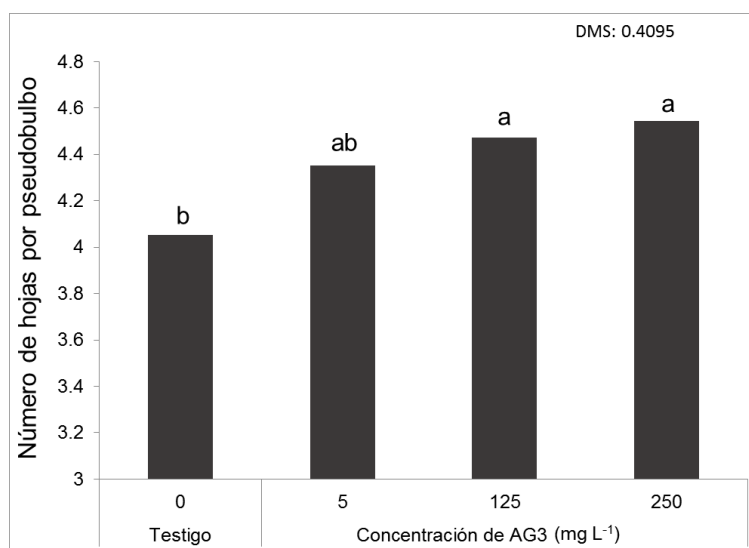


Figura 3. Efecto de la concentración de ácido giberélico (AG₃) sobre el número de hojas por pseudobulbo en plantas adultas de *Cymbidium* sp. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Longitud de pseudobulbo

La interacción entre el tipo de fotoperíodo y la concentración de ácido giberélico afecto de manera similar la longitud de los pseudobulbos en las plantas de todos los tratamientos con respecto a las plantas sin tratar. Sin embargo con el FNCl y la concentración de 250 mg L⁻¹ se encontró la longitud de los pseudobulbos más baja (77.02 mm) (Figura 4). Condiciones de fotoperiodo con periodos de oscuridad más cortos (FNCl) y la aplicación de AG₃ en concentraciones bajas (5 y 125 mg L⁻¹) favorecen la madurez de los pseudobulbos.

El tamaño del pseudobulbo puede ser un buen indicador para determinar cuando las plantas de *Cymbidium* tiene la madurez adecuada para la inducción floral (Kim *et al.*, 2011). Lopez y Runkle (2006) también han demostrado la importancia de la madurez de los pseudobulbos para la iniciación floral en *Dendrobium* y *Miltoniopsis*, ya que cuando los pseudobulbos inmaduros de estas especies son sometidos a las condiciones inductivas de fotoperiodo y temperatura, las plantas no florecen o esta se retrasa (Lopez y Runkle, 2006). Matsumoto (2006) menciona que en *Miltoniopsis* la emergencia de inflorescencias comienza cuando el pseudobulbo ha alcanzado y longitud y diámetro máximo.

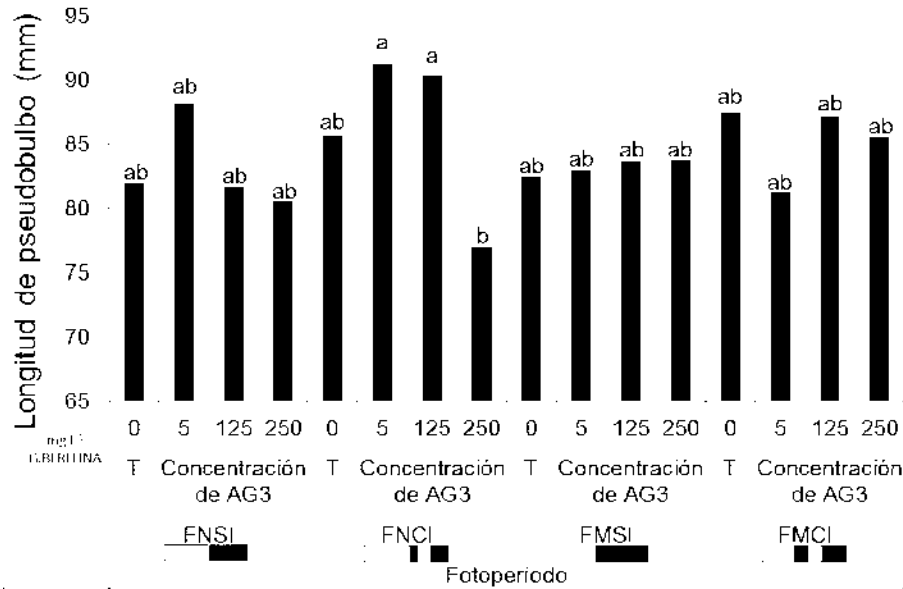


Figura 4. Efecto del tipo de fotoperíodo y la concentración de ácido giberélico (AG₃) sobre la longitud del pseudobulbo en *Cymbidium* sp. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Diámetro del pseudobulbo

Las diferentes condiciones de fotoperíodo presentaron respuestas similares en el diámetro del pseudobulbo. El FMCI presentó el mayor diámetro de los pseudobulbos (55.76 mm), el diámetro de pseudobulbo más bajo (52.64 mm) se encontró al utilizar el FMSI (Figura 5A), lo que muestra claramente como fotoperíodos de día largo favorecen el crecimiento de esta orquídea al obtener pseudobulbos con mayor diámetro. El ácido giberélico a 125 mg L⁻¹ de concentración incrementó en 6.5 % el diámetro de los pseudobulbos; aunque esta fitohormona causó un efecto similar al tratamiento testigo cuando la dosis fue baja (5 mg L⁻¹) o alta (250 mg L⁻¹) (52.84 y 52.85 mm, respectivamente) (Figura 5B). El diámetro de los pseudobulbos es una característica importante en las orquídeas, ya que la acumulación activa de nutrientes minerales

durante la etapa de desarrollo del pseudobulbo constituye una fuente importante de reserva para el futuro desarrollo de nuevos brotes e inflorescencias (Hew y Ng, 1996). Además, para el inicio de la floración de orquídeas se requiere un diámetro mínimo de pseudobulbo; en *Cymbidium* variedad “Red fire” y “Yokihi” se observó desarrollo de inflorescencias visibles en plantas con pseudobulbos con diámetro de 5.2 y 4.4 cm, respectivamente (Kim *et al.*, 2011).

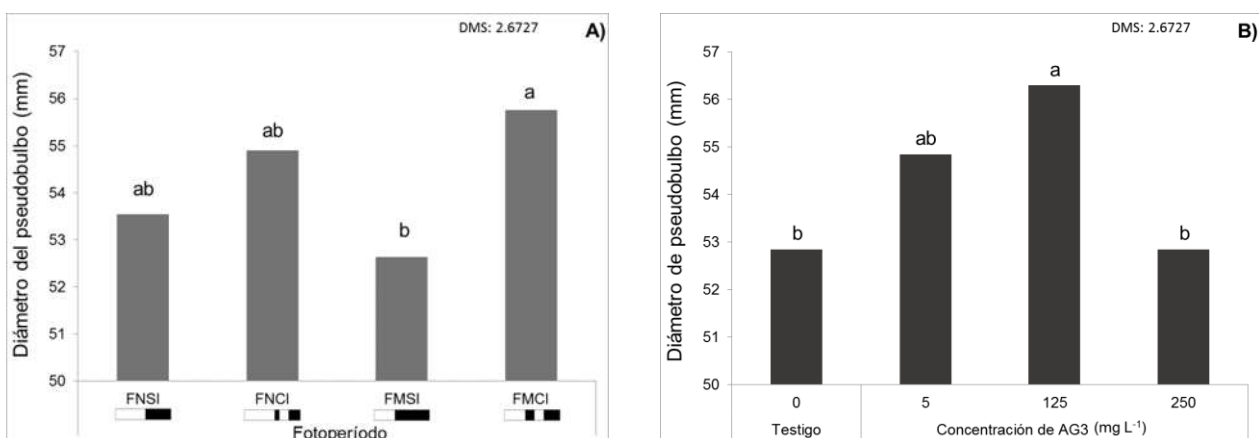


Figura 5. Diámetro del pseudobulbo en plantas adultas de *Cymbidium* sp. A) tipo de fotoperíodo y B) concentración de ácido giberélico (AG₃). Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Número de brotes

La generación de brotes aumenta en FNCl (3.6 brotes por planta) a diferencia de FMCl que presenta el menor número de brotes (2.8) (Figura 6), lo que indica que periodos cortos de oscuridad (FNCl) estimulan la formación de nuevos brotes que darán lugar a nuevos pseudobulbos, lo que favorece el crecimiento de esta orquídea. Matsumoto (2006) menciona que en *Miltoniopsis* una mayor producción de brotes acelera el crecimiento vegetativo de la planta, sin embargo se inhibe la floración.

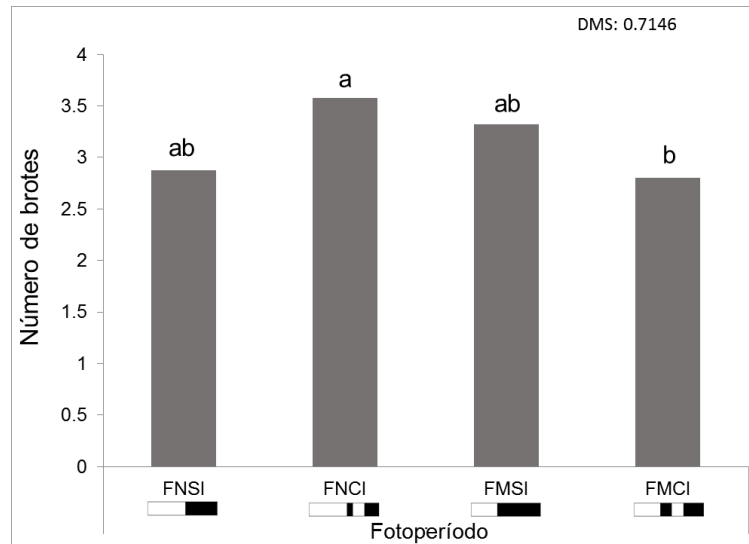


Figura 6. Influencia del fotoperíodo sobre el número de brotes en plantas de *Cymbidium* sp. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Número de hojas por brote

El número de hojas por brote se incrementó 9.7 % al utilizar el FMCI comparado con el FNSI (Figura 7). Un incremento en el número de hojas es deseable, ya que se requiere de la formación de un número de hojas como mínimo para la transición a la etapa reproductiva (Kim *et al.*, 2013). La interrupción de la noche en *Cymbidium* promueve el crecimiento y el desarrollo de la planta al provocar la traslocación de carbohidratos a las hojas y los órganos reproductivos (Kim *et al.*, 2013). En plantas de *Cymbidium* “Red Fire” y “Yokihi” crecidas bajo las mismas condiciones de fotoperíodo (9/15 CI) se incrementó 80 y 100 % respectivamente su porcentaje de floración al tener en promedio 38 hojas por planta en comparación con el tratamiento control (9/15 SI) el cual no presentó floración (Kim *et al.*, 2011)

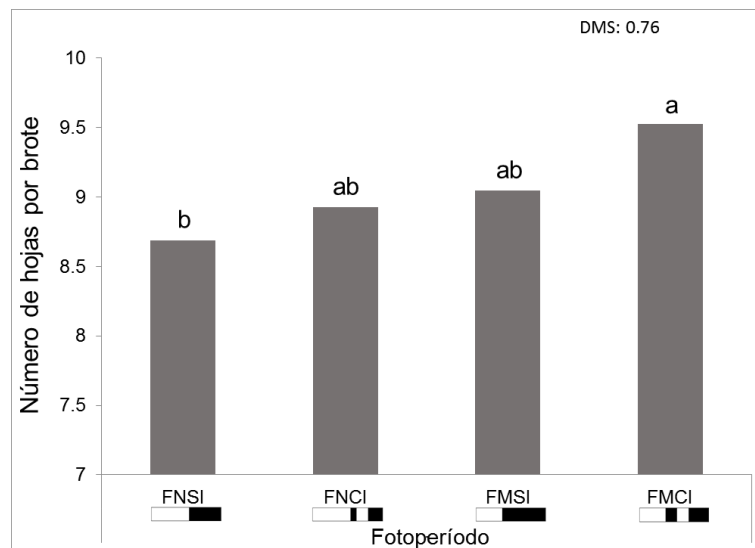


Figura 7. Influencia del tipo de fotoperíodo sobre el número de hojas por brote de plantas de *Cymbidium* sp. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

De acuerdo con las Figuras 6 y 7 al utilizar el FMCI a pesar de tener menor cantidad de brotes, estos tendrán mayor número de hojas, lo que dará lugar a pseudobulbos más vigorosos y con mayor probabilidad de floración.

Número de escapos

En un lapso de 60 dda el número de escapos se incrementó de 1.1 escapos en promedio a 1.6 a los 120 dda (Figura 8A). El número de escapos por efecto de las diferentes condiciones de fotoperíodo incluido el testigo no fueron diferentes entre sí, aunque si se observaron diferencias entre aplicar un FMCI (1.8 escapos) y el FMSI (0.75 escapos) (Figura 8B). La interrupción de la noche promovió un incremento en el tamaño de los pseudobulbos lo que posteriormente aumentó el número de escapos florales. Esto sugiere que durante condiciones no favorables como noches largas, se puede utilizar la

interrupción de la noche para obtener periodos de oscuridad cortos y así promover la inducción floral (Kim *et al.*, 2011).

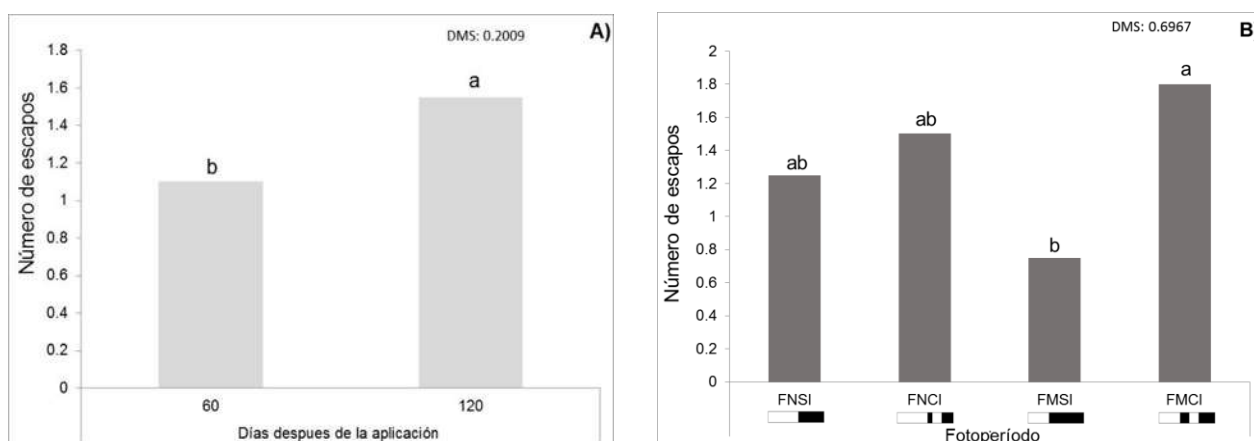


Figura 8. Numero de escapes de plantas de *Cymbidium* sp. por efecto de A) fecha de muestreo y B) tipo de fotoperíodo. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Lecturas SPAD

Las lecturas más altas se observaron en el FMCI (64.52) con 5 y 250 mg L⁻¹ (64.17 y 64.08, respectivamente). En contraste las lecturas más bajas se encontraron con el FMCI sin AG₃ y el FNCI con 250 mg L⁻¹ de AG₃ (59.08 y 59.06, respectivamente) (Figura 9). Lo que indica un incremento de la concentración de nitrógeno en la planta ya que según Errecart *et al* (2012) el contenido de N en las hojas está estrechamente relacionado con las lecturas del SPAD. Kim *et al.* (2015) encontraron resultados similares al someter dos variedades de *Cymbidium* a las mismas condiciones de fotoperíodo (9/15 y 9/15 CI) donde las plantas que estuvieron en condiciones de noche larga presentaron mayores contenidos de N que a las que se les interrumpió la noche (23 y 24 %).

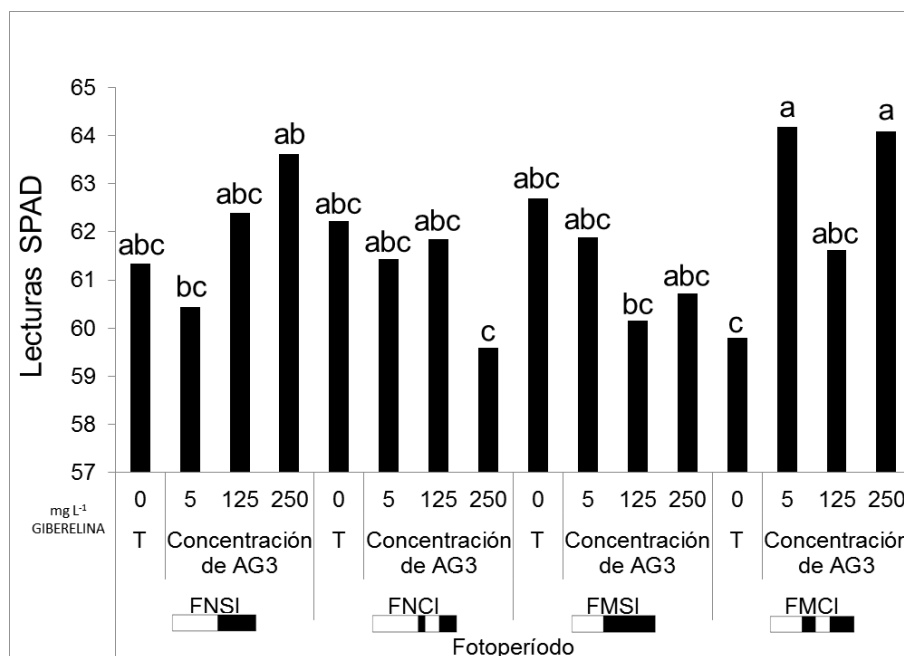


Figura 9. Efecto del fotoperíodo y la concentración de ácido giberélico (AG₃) sobre las lecturas SPAD en hojas de *Cymbidium* sp. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan, 0.05).

3.3.1. Floración

La floración no se presentó en todas las plantas (repeticiones) de los tratamientos. Durante la época de inducción floral las temperaturas en el invernadero fueron altas (max. 30 °C). Sin embargo, esta condición parece inhibirse por efecto de la aplicación de ácido giberélico al mostrar un incremento en el número de plantas con flor al aplicar 5 y 125 mg L⁻¹ en las condiciones de FNSI y FMCI (Figura 10). En la mayoría de los géneros más cultivados de orquídeas, la floración es influida por la temperatura y la luz. Las temperaturas relativamente bajas inducen la floración, mientras que una temperatura alta la inhibe (López y Runkle, 2005). Las giberelinas influyen los estímulos para la floración en diferentes vías, al activar promotores de genes en el meristemo y reemplazar el período de bajas temperaturas requerido para la floración de muchas especies e

incrementar la relación C/N en hojas con la activación de enzimas hidrolíticas (Cardoso *et al.*, 2012)

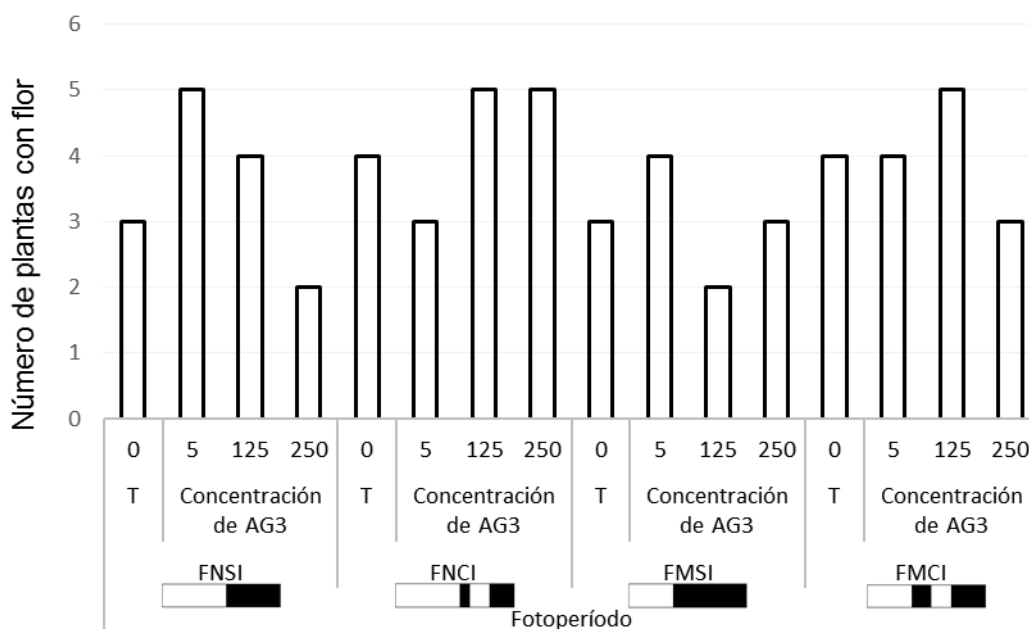


Figura 10. Efecto del fotoperíodo y la aplicación de ácido giberélico (AG₃) sobre el número de plantas que presentaron floración.

No se presentaron diferencias estadísticas significativas para las variables tiempo de floración, número de flores, longitud del escapo, número de nudos del escapo, diámetro de la flor y longitud de la flor por efecto de los factores evaluados de manera independiente y en interacción.

Número de inflorescencias

El mayor número de inflorescencias (2.14) se obtuvo al aplicar el FMCI, comportamiento similar al observado en los tratamientos de fotoperíodo natural (FNSI y FNCI) aunque es diferente a FMSI, lo que confirma que *Cymbidium* se comporta como una orquídea de día

largo y noche corta y al aplicar un FMSI que no es el requerido por esta, el número de flores se ve disminuido a 1.12 inflorescencias por planta (Figura 11). An *et al.* (2015) menciona que al utilizar el mismo fotoperiodo 9/15 con interrupción de la noche pero con alta y baja intensidad de luz en esta orquídea presentaron 2.5 y 3 escapos florales respectivamente a diferencia del tratamiento testigo que no floreció. An *et al.* (2015) menciona que cuando las condiciones foto periódicas no son las adecuadas, a través de la interrupción de la noche con luz artificial se puede sustituir las condiciones de día largo y así favorecer la floración.

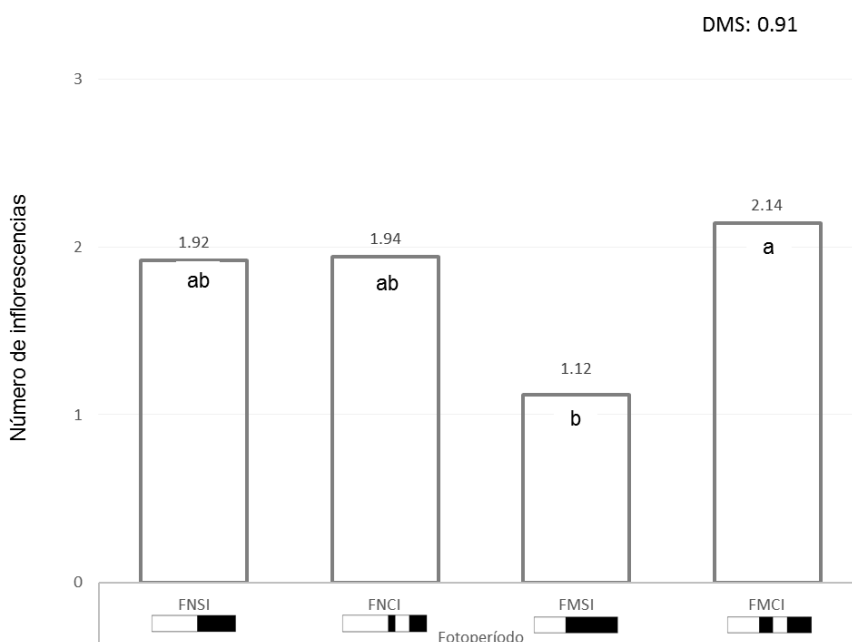


Figura 11. Número de inflorescencias de *Cymbidium* sp. en relación al tipo de fotoperíodo. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Diámetro del escapo floral

En relación al diámetro de los escapos florales, todos los tratamientos presentaron resultados estadísticamente similares al FNSI (9.9 mm). El mayor diámetro del escapo

se encontró al utilizar la IN (10.5 y 10.2 mm) y solo fue diferente el FMSI (8.7 mm) comportamiento esperado de una orquídea de día largo y noche corta (Figura 12). El diámetro de tallos florales es un parámetro importante para la calidad de las flores de corte en general (Arjenaki *et al.*, 2012).

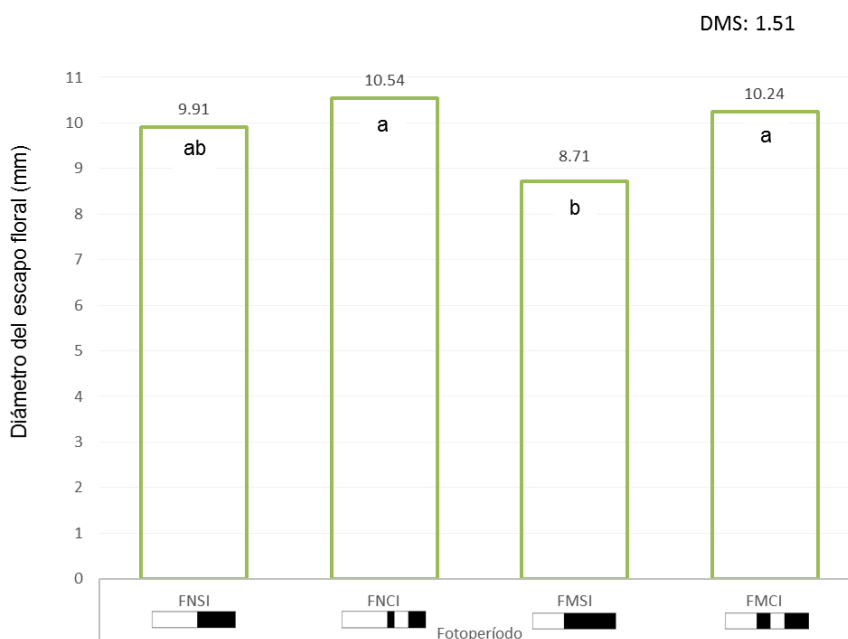


Figura 12. Diámetro del escapo floral en plantas de *Cymbidium* sp. en relación al tipo de fotoperíodo. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Longitud de la inflorescencia

Las diferentes concentraciones de AG₃ aplicadas modificaron la longitud de las inflorescencias de *Cymbidium* (Figura 13). El tratamiento con 250 mg L⁻¹ de AG₃ presentó la mayor longitud de la inflorescencia (26.6 cm), mientras que, la menor longitud de inflorescencia se obtuvo al aplicar solo 5 mg L⁻¹ de AG₃ (21.13 cm). En *Phalaenopsis* se obtuvo una mayor longitud de la inflorescencia de 20 a 45 cm al aplicar 125mg L⁻¹ de AG₃

comparado con el tratamiento control. Inflorescencias con mayor longitud y número de flores proporcionan calidad de floración. Cardoso *et al.* (2012) mencionan que la longitud de la inflorescencia es usada como parámetro para evaluar la calidad de clasificación de *Phalaenopsis* en el mercado.

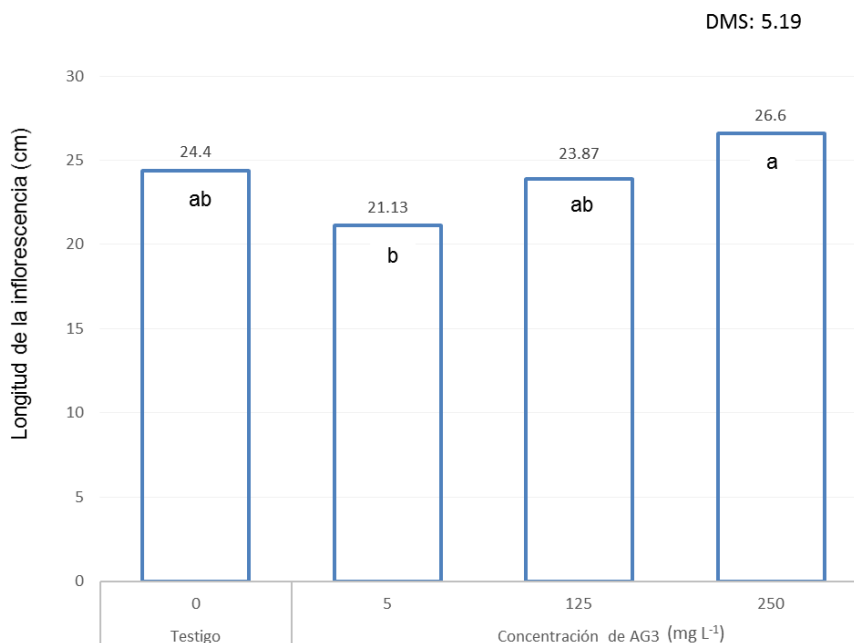


Figura 13. Longitud de la inflorescencia de plantas de *Cymbidium* sp. en función de la concentración de ácido giberélico (AG₃) aplicado. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

IV. CONCLUSIONES

El fotoperíodo FMCI promueve el crecimiento vegetativo en plantas de *Cymbidium* sp. al incrementar el número de pseudobulbos y de brotes y sus hojas. Además en relación a la floración, aumento el número de escapos, inflorescencias y el diámetro del escapo floral.

La concentración de 125 mg L⁻¹ estimuló el crecimiento de *Cymbidium* sp., al aumentar el número de pseudobulbos, su diámetro y sus hojas.

La interacción entre el tipo de fotoperíodo y las diferentes concentraciones de AG₃ influyó significativamente en la longitud del pseudobulbo y las lecturas SPAD.

V. LITERATURA CITADA

- An H. R., Y. J. Kim, Y. J. Park, K. S. Kim (2015)** Night Interruption improves subsequent cut flower quality in *Cymbidium* “Red Fire”. *Horticulture Environment and Biotechnology* 56(4):455-461.
- Arjenaki S. G., M. Chehrazi, R. Iranipor (2012)** The effect of different concentrations of fertilizer hydroflex F and calcium nitrate on characteristics the “High Magic” of Hybrid Rose Cv. “High Magic” In Soilless Culture. *American Journal of advances scientific research* 1(4): 198-201.
- Blázquez M. A., M. Piñeiro, F. Valverde (2011)** Bases moleculares de la floración. *Investigación y Ciencia* 3 (3): 1-12.
- Cardoso J. C., E. O. Ono, J. D. Rodrigues (2010)** Gibberellic acid and water regime in the flowering induction of *Brassocattleya* and *Cattleya* hybrid orchids. *Horticultura Brasileira* 28: 395-398.
- Cardoso J. C., E. O. Ono, J. D. Rodrigues (2012)** Gibberellic acid in vegetative and reproductive development of *Phalaenopsis* orchid hybrid genus. *Horticultura Brasileira* 30: 71-74.
- Errecart M. P., M. G. Agnusdei, F. A. Lattanzi, M. A. Marino (2012)** Leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings as predictors of tall fescue nitrogen nutrition status. *Field Crops Research* 129: 46–58.

- 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.
- Hye R. A., J. Yoon K., K. Ki S. (2012)** Flower initiation and development in *Cymbidium* by night interruption with potassium and nitrogen. *Horticulture, Environment and Biotechnology* 53(3):204-211.
- Juárez H. M. J., G. Baca C., L. A. Aceves N., P. Sánchez G., J. L. Tirado T., J. Sahagún C., M. T. Colinas L. (2006)** Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. *Interciencia* 31(004):245-253.
- Kim Y. J., H. J. Lee, K. S. Kim (2011)** Night interruption promotes vegetative growth and flowering of *Cymbidium*. *Scientia Horticulturae* 130: 887–893.
- Kim Y. J., H. J. Lee, K. S. Kim (2013)** Carbohydrate changes in *Cymbidium* “Red Fire” in response to night interruption. *Scientia Horticulturae* 162: 82–89.
- Kim Y. J., Yu D. J., Rho H., Runkle E. S., Lee H. J., Kim K. S. (2015)** Photosynthetic changes in *Cymbidium* orchids grown under different intensities of night interruption lighting. *Scientia Horticulturae* 186: 124-128.
- López R. G., S. Runkle E. (2005)** Environmental physiology of growth and flowering of orchids. *HortScience* 40(7): 1969-1973.
- López R. G., S. Runkle E. (2006)** Temperature and photoperiod regulate flowering of potted *Miltoniopsis* orchids. *HortScience* 41(3): 593-597.

- Matsumoto T. K. (2006)** Gibberellic acid and benzyladenine promote early flowering and vegetative growth of *Miltoniopsis* orchid hybrids. *HortScience* 41(1): 131-135.
- Ng C. K. Y., C. S. Hew (2000)** Orchid pseudobulbs- “false” bulbs with a genuine importance in orchid growth and survival! *Scientia Horticulturae* 83: 165-172.
- Phengphachanh B., D. Naphrom, W. Bundithya, N. Potapohn (2012)** Effects of day-length and gibberellic acid (GA₃) on flowering and endogenous hormone levels in *Rhynchostylis gigantea* (Lindl.) Ridl. *Journal of Agricultural Science* 4(4):1916-9752.
- Pridgeon A. (2000)** The Illustrated Enciclopedia of Orchids. Timber Pres. Portlant Ore. 304 p.
- Steiner A. A. (1984)** The universal nutrient solution. *In: Proceedings of Sixth International Congress on Soilless Culture*. Lunteren, The Netherlands. pp. 633-649.
- Taiz L., E Zeiger (2009)** Fisiología Vegetal. Porto Alegre. Artmed. 719 p.
- Vince-Prue D., A. E. Canham (1983)** Horticultural significance of photomorphogenesis. *Photomorphogenesis*. Springer Berlin Heidelberg. 518-544.
- Wu J., H. Ma M., Lü S., Han Y., Zhu H., Jin J., Liang, L. Liu, J. Xu (2010)** Rhizoctonia fungi enhance the growth of the endangered orchids *Cymbidium goeringii*. *Botany* 88: 20-29.