ENRAIZADO DE ESTACAS JUVENILES EN CINCO ESPECIES DE CONÍFERAS ORNAMENTALES: EFECTO DEL ÁCIDO INDOLBUTÍRICO AIB Y DE LA TEMPERATURA

José Justo Mateo Sánchez[1], J. Jesús Vargas Hernández[1], Ma. Cristina López Peralta[2], Jesús Jasso Mata[1].

RESUMEN

Con la finalidad de evaluar el efecto de diferentes dosis de Acido Indolbutírico AIB y de la temperatura del substrato sobre el enraizado de estacas juveniles de cinco especies de Cupresáceas (Junípero, *Juniperus horizontalis*; ciprés, *Cupressus sempervirens*; cedro limón, *Cupressus macrocarpa*; thuja, *Thuja orientalis*; y falso ciprés, *Chamaecyparis lawsoniana*), en marzo de 1997 se estableció un ensayo empleando dos condiciones de substrato (con y sin calefacción) y cinco niveles de AIB (0, 5,000, 10,000 y 20,000 ppm en solución líquida, y 10,000 ppm en polvo comercial). A los tres meses todas las especies presentaron enraizamiento con porcentajes globales que variaron de 11.2% en thuja hasta 42.5% en falso Ciprés; las otras especies (junípero, ciprés, cedro limón) presentaron valores de 27.5, 20.1, y 27.3%, respectivamente. El análisis de varianza mostró efectos significativos ($p \leq 0.05$) de los dos factores evaluados (dosis de AIB y temperatura del substrato) sobre la formación de callo y de raíces en las estacas de todas las especies. En la mayoría de las especies la dosis óptima para la formación de callo y raíces fluctuó entre 10,000 y 20,000 ppm de AIB en solución líquida. En tres de las especies (junípero, ciprés y cedro limón) el aumento de la temperatura en el substrato influyó en forma negativa en la formación de callos y raíces, lográndose mejores resultados en la cama sin calefacción; sin embargo, en las otras dos especies el aumento en temperatura si estimuló la formación de raíces. En todas las especies la aparición de callos y raíces ocurrió preferentemente en las heridas hechas a lo largo de las estaquillas al establecer el ensayo.

Palabras clave: Acido indolbutírico, enraizado, *Juniperus horizontalis, Cupressus sempervirens, Cupressus macrocarpa, Thuja orientalis, Chamaecyparis lawsoniana*

ABSTRACT

A greenhouse experimental on march 1997, to evaluate five different concentrations of IBA in solution (0, 5000, 10000 and 20,000 ppm) and 10,000 ppm of Brand trade Radix F-10,000.and two levels of soil temperature (heated and unheated) over the rooting of five species from Cupresacea family: *Juniperus horizontalis, Cupressus sempervirens, Cupressus macrocarpa, Thuja orientalis* and *Chamaecyparis lawsoniana*. Results showed that callous and roots emission began before cuttings were 60 days old, and after 90 days all species showed rooting percentages that ranged from 11.2% (*Thuja orientalis*) to 42.5% (*Chamaecyparis lawsoniana*). *Juniperus horizontalis, Cupresssus sempervirens* and *Cupressus macrocarpa* showed 27.5, 20.1 and 27.3% of rooting, respectively. The statistical analisis (ANOVA) showed significant effects ($p \leq 0.05$) for both factors analyzed (IBA concentrations and temperature) over callous and roots emission of cuttings from all species. Optimal IBA solution concentrations to induce callous and roots emission were 10,000 and 20,000 ppm. High soil temperature had negative effect over callous and roots emission in *Juniperus horizontalis, Cupressus sempervirens* and *Cupressus macrocarpa*, while positive effects were shown in unheated soil. However, in *Thuja orientalis* and *Chamaecyparis lawsoniana* high temperature showed increments on callous and roots emission. In all species the callous and roots emission were better obtained over longitudinal injuries of cuttings that were done at the beginning of the assay; the procedure had a great effect over rooting capacity in these coniferous species.

Key words: indolbutiric acid, roots, *Juniperus horizontalis, Cupressus sempervirens, Cupressus macrocarpa, Thuja orientalis, Chamaecyparis lawsoniana*

INTRODUCCIÓN

La propagación vegetativa de las plantas por medio del enraizado de estacas o esquejes se basa en la aptitud que tienen algunos órganos para formar raíces adventicias. Este método trasmite fielmente a los nuevos individuos las características de la planta madre, cualidades y defectos (Iglesia, 1992). En los últimos 20 años se han realizado diversos trabajos orientados a encontrar métodos y técnicas que permitan propagar una mayor cantidad de especies forestales por medios vegetativos, o que reproduzcan individuos de alto valor genético, económico o con fines ornamentales (Prieto, 1992). La limitante principal de la propagación vegetativa de especies leñosas ha sido el bajo porcentaje de multiplicación, ya que solo unas cuantas especies arbóreas se reproducen fácilmente por métodos vegetativos como el caso de los géneros *Populus, Salix, Platanus, Tamarix* y *Ficus*, entre otros.

[1]Especialidad Forestal, IRENAT, Colegio de Postgraduados. Correo-e: jmateo@colpos.colpos.mx
[2]Especialidad de Genética, IREGEP, Colegio de Postgraduados.

Existe una gran cantidad de especies de un alto valor ornamental dentro de las coníferas; sin embargo, su uso extensivo está limitado por los altos costos que alcanzan comercialmente, a consecuencia de las dificultades de propagación vegetativa. A pesar de que la formación espontánea de raíces adventicias es una característica peculiar de la mayoría de especies tropicales de Angiospermas, esto no ocurre en las especies de Gimnospermas, clase a la cual pertenecen las coníferas. Esta situación plantea la necesidad de generar mayor información sobre los factores que determinan la capacidad de enraizado de especies de coníferas con valor ornamental.

Uno de los principales factores que influyen sobre la capacidad de formación de raíces adventicias es la aplicación de substancias enraizadoras en la base de las estacas, las cuales además de promover la formación las raíces, incrementan el numero y la calidad de las mismas (MacDonald, 1986). Una de las substancias químicas utilizadas inicialmente en el enraizado de estacas de madera dura fue el permanganato de potasio, obteniendo algún éxito en especies leñosas pero sin lograr uniformidad en la velocidad de enraizado (Hartmann y Kester, 1990).

ANTECEDENTES

Los ácidos 2-4 diclorofenoxiacético (2, 4-D) y 2, 4, 5 triclorofenoxiacetico (2, 4, 5-T) se han usado en el enraizamiento de estacas, mostrando una potente actividad de promoción de raíces; sin embargo, estas substancias son rápidamente traslocadas a través de las estacas y pueden retrasar la apertura del brote apical e inducir otros efectos adversos que repercuten en bajos porcentajes de enraizamiento (Dirr y Heuser, 1987). Debido a lo anterior, las auxinas son el grupo de substancias químicas con mayor eficacia en la formación de raíces adventicias en estacas leñosas y semileñosas; dentro de las auxinas, el ácido indolbutírico (AIB) es el que mejores resultados ha generado, recomendándose su aplicación en dosis de 5,000 a 15,000 ppm en especies leñosas de difícil enraizamiento (MacDonald, 1986). En estas concentraciones y para este grupo de especies se recomienda la inmersión rápida, que consiste en sumergir la base de la estaquilla de unos segundos hasta tres minutos (Iglesia, 1992). Por ejemplo, en el híbrido *x Cupressocyparis leylandii* se utilizaron diferentes substancias incluyendo AIB en varias concentraciones con el propósito de estimular la formación de raíces adventicias, logrando los mejores resultados con una dosis de 3,000 ppm de AIB (Hartmann y Kester 1990).

La temperatura del sustrato es otro factor determinante sobre la capacidad de enraizamiento de especies leñosas que para que se presente de manera óptima en estas especies, generalmente se requiere una temperatura de 20 a 25°C en el substrato, por lo que en algunos casos es necesario elevar su temperatura por medio de calentamiento basal (Loach, 1988), permitiendo que la emisión de raíces ocurra casi al mismo tiempo que el desarrollo de los brotes y evitando el marchitamiento prematuro de las estaquillas. En este caso, las estacas previamente tratadas con reguladores de crecimiento se colocan en las camas de enraizamiento en cuyo fondo se instaló una resistencia termoeléctrica o un sistema de tuberías por las que circula agua caliente (Iglesia, 1992). Velarde (1989) recomienda una diferencia de temperatura de ±10°C en la temperatura del substrato (calor de fondo), por encima de la temperatura atmosférica para favorecer la actividad de los tejidos que darán origen a las raíces adventicias, la cual es particularmente útil en estaquillas provistas de hojas y en especies de difícil enraizamiento (Rodríguez, 1988).

Cooper (1977) comparó la aplicación continua de calor basal, únicamente durante el día, sobre el enraizamiento de estacas de *Juniperus communis*, encontrando una mayor velocidad de producción de raíces, aunque el porcentaje final de enraizamiento fue similar en ambos. En algunos casos, el efecto de la temperatura basal depende del tratamiento hormonal empleado. Loach (1988) encontró que las estacas de *Chamaecyparis lawsoniana* y de *Ch. pisifera* fueron indiferentes a la temperatura basal (15, 20 y 25°C) cuando las estacas fueron tratadas con auxinas; sin embargo, las estacas no tratadas respondieron positivamente al aumento en la temperatura del substrato. A pesar de lo anterior, en algunos estudios se ha generado controversia sobre los beneficios de la temperatura basal en estacas leñosas y semileñosas de especies perennifolias. Por ejemplo, Kelly y Lamb (1979) obtuvieron bajos porcentajes de enraizamiento en seis especies de coníferas

en condiciones de invernadero; en esas condiciones los mejores porcentajes se lograron cuando no se aplicó calor basal. Con base en lo anterior, se propuso evaluar el efecto de diferentes dosis de AIB y temperaturas de la cama de enraizamiento, en la capacidad de enraizado de estacas juveniles de cinco especies de coníferas de importancia ornamental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento del experimento

El ensayo se realizó en el invernadero de la Especialidad Forestal del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Estado de México. El invernadero se acondicionó para proporcionar mejores condiciones ambientales a las estaquillas, a fin de lograr la emisión de raíces adventicias de la mayor calidad posible en el menor tiempo. En el ensayo se utilizaron cinco especies de la familia Cupresaceae (*Juniperus horizontalis L., Cupressus sempervirens L., Cupressus macrocarpa Hartw, Thuja orientalis L.*, y *Chamaecyparis lawsoniana (A. Murr) Parl.*). Las especies fueron seleccionadas por su importancia ornamental y su demanda en los viveros comerciales para ser plantadas con estos fines. Todas las especies anteriores son consideradas de difícil enraizamiento (Hartmann y Kester, 1990). Los árboles de los cuales se cortaron las estacas de las cinco especies fueron seleccionados con base en sus características fenotípicas (conformación), su velocidad de crecimiento (vigor) y su excelente condición fitosanitaria; en la mayoría de las especies se utilizaron plantas madres menores de tres años.

Se contempló el uso de soluciones de ácido indolbutírico (AIB) con diferentes concentraciones (0, 5,000, 10,000 y 20,000 ppm), así como de un producto comercial en polvo (Radix F-10,000), con una concentración de 10,000 ppm de AIB para promover la formación de raíces adventicias en las estacas. El AIB en solución líquida se aplicó por inmersión rápida por espacio de minuto para todas las especies. El Radix F-10,000 se empleó por contacto rápido en las estacas previamente remojadas y escurridas para una mejor impregnación.

Proponiendo la evaluación del efecto de la temperatura del substrato sobre la capacidad de la generación de raíces, se utilizaron dos camas de enraizamiento con dimensiones similares (2.70m de largo X 1.2 m de ancho y 0.27m de alto). En una se colocó un sistema de resistencias con un termostato para mantener una temperatura de 20 a 25°C, con una diferencia de al menos 10°C con respecto a la otra cama, que se mantuvo a temperatura ambiental en el substrato (entre 10 y 15 °C). El sistema de resistencias se mantuvo funcionando solo durante las tres primeras semanas posteriores a la fecha de estaquillado.

El substrato utilizado fue una mezcla de tierra de monte y agrolita en proporción de 1:1 (volumen). Una semana antes del establecimiento del ensayo se cribó la tierra de monte con una malla de alambre cuadrada de cuatro mm por lado para eliminar impurezas y las partículas de mayor tamaño, desinfectando la tierra con bromuro de metilo. Para mantener una alta humedad relativa en el ambiente, se construyó un microinvernadero dentro del invernadero existente, y se colocó un humidificador diseñado para un volumen de 20 m^3 en medio de las dos camas de enraizamiento, lo que mantuvo una humedad relativa superior al 90% a lo largo del ensayo.

La longitud de las estaquillas varió de diez a quince cm entre especies, aunque se trató de que fueran de tamaño uniforme dentro de cada una y sin presencia de enfermedades u otros daños visibles. El material se tomó de las ramas laterales localizadas en los dos tercios inferiores de las plantas madre. En la base de la estaquilla se efectuó un corte diagonal, en cuyos primeros cinco cm del tallo a partir del extremo basal se eliminó el follaje y se aplicaron dos cortes longitudinales (heridas) a la profundidad del cambium y xilema, con la finalidad de facilitar una mayor absorción de los enraizadores aplicados y promover una mayor formación de callo y raíces. Posteriormente, las estaquillas fueron lavadas en agua corriente y sumergidas totalmente en una solución de Captan al 5% por un tiempo aproximado de 30 minutos, y se dejaron escurrir por cinco minutos, antes de aplicarles el AIB.

Posterior a la aplicación del AIB las estaquillas se colocaron en las camas con un espaciamiento de 4.1 x 4.5 cm. Al introducir las estacas se apisonó levemente el substrato con los dedos para eliminar las bolsas de aire. Finalizado el estacado se dio un riego fino para asentar el substrato y lograr un mejor contacto de la estaquilla. Para cada especie fue necesario utilizar un

día completo, por lo que se requirió de cinco días hábiles no continuos; la primera especie se estableció el 11 de marzo y la última el 18 de marzo de 1997.

Diseño experimental y variables evaluadas

Se realizaron ensayos independientes por especie utilizando un diseño completamente al azar con un arreglo factorial de 5x2 para un total de diez tratamientos. Como se mencionó anteriormente; el primer factor estuvo constituido por los cinco niveles de AIB. El segundo factor se determinó por las condiciones de la cama de enraizamiento (sin y con calefacción). Se utilizó un total de cuatro repeticiones por tratamiento donde cada unidad experimental (parcela) contó con 16 estaquillas generando 40 parcelas y 640 estaquillas por especie. Dos meses después de establecido el experimento, se efectuó el primer muestreo, extrayendo una estaquilla de cada parcela para conocer los avances en la formación de callo y raíces. Subsecuentemente, se muestreo cada quincena por tres meses realizando la evaluación final y extrayendo todas las estaquillas remanentes de cada parcela. En cada estaquilla extraída se determinó la presencia de callo (número y posición) y de raíces (número, longitud promedio, y posición). Con los datos se calculó el porcentaje de estaquillas con callo y con raíces por parcela así como el número promedio de callo y raíces formadas por estaca y la longitud media de las raíces. Con los promedios por parcela para cada variable se realizó un análisis de varianza de acuerdo al modelo estadístico descrito; los porcentajes fueron transformados con la función arcoseno antes del análisis estadístico. En aquellas variables donde se encontraron diferencias significativas en alguno de los factores considerados en el ensayo, se compararon las medias utilizando la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Para las variables de posición de callo y de raíz no se realizó análisis de varianza considerando únicamente el porcentaje de estacas que formaron callo o raíz en cada una de las posiciones consideradas, incluyendo base, heridas y cuello de la estaquilla en forma única o combinada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Velocidad de formación de callo y raíces

Partiendo del primer muestreo a los 60 días se apreció la formación de callo y raíces en todas las especies evaluadas, excepto thuja. En esa fecha la especie con mayor porcentaje de estacas con callo fue el falso ciprés con 50%, seguido de cedro limón con 27.5%, mientras que el ciprés y el junípero solo tenían 15 y 10% respectivamente. El porcentaje de estacas enraizadas correspondió al falso ciprés con 32%, seguido del cedro limón con 15%, en tanto junípero y ciprés solo tenía 12.5 y 5% respectivamente (Cuadro 1). Estas diferencias entre las especies en la formación de callo y de raíces se mantuvieron sin muchos cambios en el muestreo realizado a los 75 días, ya que tanto el falso ciprés como la thuja mantuvieron los porcentajes extremos de formación de callo, con 35 y 10%, respectivamente. De igual manera, el falso ciprés y el ciprés mantuvieron los porcentajes extremos de estacas enraizadas, con 37.5 y 5% respectivamente. La thuja mostró en este segundo muestreo un ligero avance al llegar al 12.5% de estacas con raíces, mientras que las otras especies presentaron valores intermedios.

A los 90 días se observó un incremento notorio en el porcentaje de estacas con callo en todas las especies hasta valores mayores de 50% en cada una de ellas y de acuerdo a los muestreos anteriores, el falso Ciprés y el Cedro limón mantuvieron los mayores porcentajes de formación de callo de todas las especies. Asimismo, con excepción de la thuja, todas las especies presentaron porcentajes globales de enraizado mayores de 20%. Al igual que en la formación de callo en el último muestreo el falso ciprés y el cedro limón mantuvieron los mayores porcentajes de formación de raiz de todas las especies (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje de estacas con formación de callo y de raíz en diferentes fechas de muestreo en cinco especies de Cupresáceas

	Porcentaje de estacas con callo (%)			Porcentaje de estacas con raíz (%)		
Especie	60 días	75 días	90 días	60 días	75 días	90 días
Junipero	10.0	20.0	62.4,	12.5	10.0	25.75
Ciprés	15.0	12.5	52.0	5.0	5.0	20.13
Cedro limón	27.5	27.5	77.8	15.0	27.5	27.29
Thuja	0.0	10.0	52.3	0.0	12.5	11.25
Falso Ciprés	50.0,	35.0	88.5	32.0	37.5	42.48

Los datos muestran que a pesar de que se trata de especies de la misma familia (Cupresaceae), existen diferencias notorias entre ellas en la velocidad y capacidad de formación de callo. De acuerdo con Haissig (1974), la formación de callo en estacas de especies leñosas es una condición necesaria para la producción de raíces adventicias, debido a que ahi se forma la mayor parte de las células que pueden diferenciarse para originar las raíces adventicias. De igual forma, existen diferencias notorias entre estas especies en la velocidad y capacidad de formación de raíz. Sin embargo, es posible que las diferencias entre las especies en la capacidad de enraizado se deban en parte a las diferencias por el grado juvenil del material empleado en el estudio. Por ejemplo, el menor porcentaje de enraizado en thuja puede estar relacionado con que el material de la especie era el menos juvenil (Mateo, 1997). De cualquier manera, es importante resaltar que existen pocas experiencias publicadas sobre la capacidad de enraizamiento de especies de Cupresáceas. En la mayoría de los estudios se han obtenido porcentajes de enraizamiento relativamente bajos, incluso menores del 5% (Prieto, 1992).

EFECTO DEL AIB Y LA TEMPERATURA

Porcentaje de estacas con raíz

El análisis de varianza mostró efectos altamente significativos ($p \leq 0.01$) de los dos factores evaluados (dosis de AIB y temperatura) sobre el porcentaje de formación de raíz en todas las especies incluidas en el ensayo. Sin embargo, la interacción entre los dos factores anteriores sólo fue significativo ($p \leq 0.05$) en dos de las especies (ciprés y cedro limón) pero no en las otras tres. Esto implica que el efecto de un factor fue independiente del otro factor. En promedio de todos los tratamientos, el falso ciprés presentó el mayor porcentaje de estacas con formación de raíz con 42.5%, seguido de cedro limón y junipero con 27.3 y 25.8%, respectivamente (Cuadro 2)..

La aplicación de AIB influyó favorablemente sobre el porcentaje de estacas que formaron raíz en todas las especies, aunque en diferentes grados para cada una. En promedio, el mayor porcentaje de formación de raiz se logró cuando se utilizó una dosis de 10 mil ppm de AIB (39.5%), seguida por las dosis de 20 mil y de 5 mil ppm, con valores de 35.6 y 27.7%, respectivamente. El uso del producto Radix F-10,000, que tiene una dosis similar de AIB en polvo, a diferencia de lo anterior, estimuló de manera modesta la formación de raíz con respecto al testigo, con un porcentaje menor a la mitad de lo observado con la misma dosis de AIB en solución líquida; en algunas especies, inclusive inhibió la formación de raíces con respecto al testigo, como el caso de junípero y ciprés (Cuadro3).

Los resultados obtenidos concuerdan con los datos obtenidos por Dirr y Heuser (1987) en especies leñosas maderables. Ellos aseguran que en especies de difícil enraizamiento lo más recomendable es utilizar soluciones líquidas de AIB en concentraciones de cinco a diez mil ppm. Rosas *et al.* (1994), en un ensayo de propagación vegetativa con el híbrido *X Cupressocyparis leylandii,* obtuvieron buenos resultados al emplear soluciones líquidas de diez mil ppm de AIB. Prasad *et al.* (1996) coincidieron que soluciones líquidas de AIB fueron más efectivas que concentraciones similares de AIB en polvo para promover el enraizamiento de estacas de *Eucalyptus tereticornis*. Ellos atribuyeron la mayor efectividad de las soluciones líquidas al hecho de que éstas se difunden más fácilmente al interior de las estacas a partir de las zonas de corte o heridas realizadas superficialmente, y que hay una distribución mas uniforme en toda la región de formación de raíces. Estos datos apoyan los pobres resultados que se obtuvieron con el Radix F-10,000 en la mayoría de las especies utilizadas en nuestro ensayo, con excepción del Cedro limón, en donde no hubo diferencias entre la solución líquida y la presentación en polvo del AIB a diez mil ppm.

El aumento de la temperatura en el substrato también influyó en el porcentaje de estacas que formaron raíz, aunque esta influencia fue negativa en la mayoría de las especies evaluadas (Cuadro 4). En el promedio de todas las especies, el porcentaje de estacas con raíz en la cama sin temperatura fue de 28.7%, mientras que en la cama con temperatura, este porcentaje se redujo hasta 22.0%. Sin embargo, este comportamiento no fue similar en todas las especies; mientras que en ciprés y junípero el aumento en temperatura redujo la formación de raíz de manera drástica, hasta una décima (de 37.3% a 3%) y quinta (de 42.5% a 9%) parte, respectivamente; en el

Cuadro 2. Análisis de varianza del porcentaje de estacas que formaron raíces, en cinco especies de Cupresáceas

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios y significancia				
		Junipero	Ciprés	Cedro limón	Thuja	falso Ciprés
AIB (E)	4	0.4336**	0.5546**	0.1691**	0.4665**	1.0119**
Temp. (T)	1	2.0686**	2.5754**	0.3570**	0.1518**	3.5996**
Int. (E x T)	4	0.0126 ns	0.3150**	0.0933*	0.0322 ns	0.0766 ns
Error	30	0.0327	0.0294	0.0276	0.0175	0.0668

** significativo con p≤0.01; * significativo con p ≤0.05; ns no significativo.

Cuadro 3. influencia de los reguladores de crecimiento sobre el porcentaje de estacas que formaron raíz en cinco especies de Cupresáceas

Especie	Porcentaje de estacas con raíz (%)					
	Testigo	AIB-5000	AIB-10000	AIB-20000	RadixF-10000	Promedio
Junipero	13.8 b	28.8 a	37.5 a	41.2 a	7.5 b	25.8
Ciprés	5.0 c	28.8 ab	45.0 a	21.9 b	0.0 c	20.1
Cedro limón	11.3 b	25.0 ab	35.2 a	26.3 ab	38.8 a	27.3
Thuja	0.0 c	12.5 b	28.8 a	15.0 ab	0.0 c	11.3
Falso ciprés	5.0 c	43.8 b	51.3 ab	73.8 a	38.7 b	42.5
Promedio	7.0	27.7	39.5	35.6	16.9	

Nota: Valores promedio en una linea seguidos de la misma letra no son estadisticamente (p≤0.05) diferentes entre si.

Cuadro 4. Influencia de la temperatura del substrato sobre el porcentaje de estacas que formaron raíz en cinco especies de Cupresáceas

Especie	Porcentaje de estacas con raíz (%)	
	Sin elevación de	Con elevación de
Junipero	42.5 a	9.0 b
Ciprés	37.3 a	3.0 b
Cedro limón	36.2 a	13.4 b
Thuja	7.0 b	15.5 a
Falso ciprés	20.6 b	64.4 a
Promedio	28.7	22.0

Nota: Valores promedio en una linea seguidos de la misma letra no son estadisticamente (p≤0.05) diferentes entre si.

cedro limón la reducción fue de un poco más de la mitad (de 36.2% a 13.4%). Por otro lado, en thuja y falso ciprés el aumento en temperatura si estimulo la formación de raíces en más de dos y tres veces respectivamente (Cuadro 4).

El efecto inhibitorio de la temperatura en tres especies parece contradictorio a lo que señala en la literatura. Por ejemplo, Velarde (1989) sostiene que un aumento de mas de 10°C en la temperatura del substrato con respecto a la del ambiente promueve el enraizado en las estacas leñosas de especies forestales. Kormanik y Brown (1974) hacen hincapié en que la temperatura del medio de enraizamiento más adecuada es entre los 20 y 28°C, ya que favorece la actividad de los tejidos que deben emitir raíces. Es posible que este efecto inhibitorio sobre la respuesta de tres de las especies se asocie con la duración del periodo en que se mantuvo una temperatura elevada. Debido a la forma y tiempo requerido para establecer el ensayo, las primeras especies estuvieron expuestas a altas temperaturas del substrato durante tres semanas, mientras que las últimas dos especies (thuja y falso ciprés) sólo estuvieron expuestas a estas condiciones durante dos semanas. Hartmann y Kester (1990) explican que el periodo de iniciación durante el cual se forman los meristemos de la raíz en las estacas durante el enraizamiento, puede dividirse en dos etapas: a) una que se activa con auxinas y b) una donde las auxinas son inactivas. Cada una de estas etapas dura unos cuatro días y es cuando se debe dar a la estaca las mejores condiciones ambientales, lo que sugiere que el estímulo de temperatura en el substrato se aplique durante este periodo crítico (ocho días). Esta interacción está apoyada por Iglesia (1992), quien explica que

el calor en el substrato es benéfico en especies perennifolias solo durante los primeros días en que se forman los primordios radicales de las estacas. Sin embargo, para comprobar el posible efecto de la duración de la estimulación con altas temperaturas sobre la formación de callo y raíces, es necesario establecer un nuevo experimento en donde se aplique el estímulo de temperatura en el substrato en periodos de diferente longitud en cada una de las especies.

Número promedio de raíces formadas por estaca

El análisis de varianza mostró que en la mayoría de las especies ningún factor individual o combinadamente influyeron significativamente sobre la cantidad de raíces formadas por estaca (Cuadro 5). El falso ciprés tuvo un comportamiento completamente diferente a las otras especies, ya que en ésta el número de raíces formadas por estaquilla si fue afectado en forma significativa por los dos factores anteriores en forma independiente. La temperatura también tuvo un efecto significativo sobre esta variable en la thuja, pero no en las otras especies. Por otro lado, con excepción del junípero, la interacción entre la dosis del enraizador y la temperatura del substrato no fue significativa en especie alguna (Cuadro 5).

La especie que desarrolló la mayor cantidad de raíces por estaca fue el falso ciprés, con un promedio de 5.2 raíces, seguida por el junípero con 3.8 raíces por estaca. La thuja y el ciprés presentaron los menores valores promedio, con 2.1 y 1.8 raíces por estaca, respectivamente. Pese a que en la mayoría de las especies no hubo diferencias significativas por efecto de la dosis de AIB, en promedio; de todas ellas, la dosis de 20,000 ppm de AIB presentó el mayor número de raíces por estaca, con un valor promedio de 4.40. De hecho, se observa una tendencia general a aumentar las raíces formadas por estaca conforme aumenta la dosis de AIB empleada con respecto al testigo, que solo tuvo un promedio de 1.1 raíces por estaca. A diferencia del efecto de las soluciones líquidas de AIB, el empleo del producto Radix F-10,000 solo estimuló ligeramente la cantidad de raíces formadas en el promedio de todas las especies, al presentar un promedio de 2.2 raíces por estaca (Cuadro 6). De manera contraria a lo ocurrido con el porcentaje de estacas que formaron raíz, el aumento de temperatura en el substrato incrementó la cantidad de raíces formadas por estaca en el promedio de todas las especies, al presentar 3.7 raíces por estaca en comparación con el promedio de 2.5 en la cama sin calefacción. Este efecto positivo de la temperatura fue mas notorio en thuja y falso ciprés, donde se observaron aumentos de más del 50 y 100% respectivamente (de 1.6 a 2.5 y de 3.1 a 6.7 raíces por estaca) (Cuadro 7).

Cuadro 5. Análisis de varianza del número promedio de raíces formadas por estaca, en cinco especies de Cupresáceas a los 3 meses de establecido el ensayo

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios y significancia				
		Junipero	Ciprés	Cedro limón	Thuja	Falso ciprés
AIB (E)	4	13.3794 ns	0.3887 ns	2.6790*	0.1944 ns	59.0636**
Temp. (T)	1	0.1719 ns	0.2567 ns	0.4550 ns	4.3728**	104.3974**
Int. (E x T)	4	28.4975 *	0.1410 ns	0.3823 ns	1.5654 ns	19.8781 ns
Error	21	6.0469	0.2987	0.7405	0.5114	8.2476

** significativo con p≤0.01; * significativo con p ≤0.05; ns no significativo.

Cuadro 6. Efecto de la concentración y de AIB sobre el número promedio de raíces formadas por estaquilla en cinco especies de Cupresáceas

Especie	Tipo de enraizador					
	testigo	AIB-5,000	AIB-10,000	AIB-20,000	Radix F-10000	Promedio
Junipero	1.43 a	3.71 a	3.73 a	5.42 a	1.88 a	3.8
Ciprés	1.33 a	1.65 a	2.10 a	1.71 a	0.00 a	1.8
Cedro limón	1.72 b	1.86 b	2.01 ab	2.86 a	3.06 a	2.3
Thuja	0.00 a	1.90 a	2.16 a	2.09 a	0.00 a	2.1
Falso ciprés	1.00 c	2.99 c	4.98 b	8.42 a	6.01 ab	5.2
Promedio	1.10	2.50	3.07	4.40	2.20	

Nota: Valores promedio en una linea seguidos de la misma letra no son estadisticamente (p≤0.05) diferentes entre si.

Cuadro 7. Efecto de la temperatura en el substrato sobre el número de raíces formadas por estaquilla en cinco especies de Cupresáceas

Especie	Número de raíces/estaquilla	
	Sin temperatura	Con temperatura
Junípero	3.7 a	3.9 a
Ciprés	1.8 a	1.5 a
Cedro limón	2.4 a	2.2 a
Thuja	1.6 b	2.5 a
Falso ciprés	3.1 b	6.7 a
Promedio	2.5	3.7

Nota: Valores promedio en una línea seguidos de la misma letra no son estadísticamente ($p \leq 0.05$) diferentes entre si.

Longitud promedio de las raíces

El análisis de varianza mostró que tanto la dosis del enraizador como la temperatura influyeron en forma significativa sobre la longitud promedio de las raíces formadas en la mayoría de las especies evaluadas. El junípero tuvo un comportamiento diferente, ya que la longitud de las raíces formadas no fue afectada en forma significativa por los dos factores anteriores de manera independiente, pero sí por la interacción de ambos. Por otro lado, con excepción del cedro limón y la thuja, la interacción entre la dosis del enraizador y la temperatura del substrato también fue significativa en las otras dos especies; lo que indica que en estas el efecto de cada factor fue dependiente del nivel del otro (Cuadro 8).

El falso ciprés desarrolló la mayor longitud promedio de raíces con un promedio de 4.8 cm, seguida por la thuja con 3.9 cm. El junípero y el ciprés presentan los menores valores de longitud de raíces con 3.3 y 1.8 cm, respectivamente. La dosis de 20 mil ppm de AIB ocasionó el mayor crecimiento en longitud, con un valor de 4.59 cm. En promedio, en todas las especies, se observa un aumento de la longitud de las raíces conforme aumenta la dosis de AIB empleada con respecto al testigo, alcanzando una longitud promedio de 1.48 cm. Esta tendencia es más marcada en el falso ciprés que observa un aumento en la longitud de las raíces de más de tres veces (de 2.10 a 7.02 cm) con respecto al testigo al emplear 20,mil ppm de AIB (Cuadro 9).

Similar a lo ocurrido con el número de raíces formadas por estaca, el aumento de temperatura en el substrato incrementó la longitud de las raíces en promedio en todas las especies, al presentar 3.9 cm en la cama con calefacción, en comparación con 2.7 cm por estaca en la cama sin calefacción. Este efecto positivo fue notorio en el ciprés, falso ciprés, y la thuja , donde se observaron aumentos mayores del 100% en la longitud de las raíces, mientras que en las otras dos especies no se observaron diferencias significativas entre las dos condiciones de temperatura (Cuadro 10). Por otro lado, el efecto significativo de la interacción entre la dosis de enraizador y la temperatura del substrato en tres especies, indica que el efecto de cada factor anterior sobre el crecimiento de las raíces formadas, es más complejo de lo descrito. Para el junipero y el ciprés, esta interacción se manifestó en el hecho de que la temperatura en el substrato estimuló más el desarrollo de las raíces en dosis bajas de AIB (5,000 ppm) que en dosis elevadas, mientras que en el caso del falso ciprés fue al contrario; es decir, en esa especie la combinación de dosis elevadas de AIB con el aumento de temperatura en el substrato fue más favorable para el crecimiento de las raíces. (Mateo, 1997).

Cuadro 8. Análisis de varianza de la longitud promedio de raíces formadas, en cinco especies de Cupresáceas

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios y significancia				
		Junipero	Ciprés	Cedro limón	Thuja	Falso Ciprés
AIB (E)	4	9.9298 ns	2.4194 ns	19.4905*	10.4842*	27.5216 **
Temp. (T)	1	1.9932 ns	17.3860 **	18.9322 ns	33.8126**	66.6223**
Int. (E x T)	4	29.6926**	13.2244**	5.9852 ns	2.0393 ns	6.6613*
Error	21	4.0133	0.9692	5.6488	2.8364	1.8705

** significativo con $p \leq 0.01$; * significativo con $p \leq 0.05$; ns no significativo.

Cuadro 9. Efecto de la concentración y tipo de enraizador sobre la longitud de las raíces formadas en cinco especies de Cupresáceas

	Longitud promedio de raices (cm).					
Especie	Testigo	AIB-5,000	AIB-10000	AIB-20000	RadixF10000	Promedio
Junipero	1.00 a	3.94 a	3.16 a	4.22 a	2.25 a	3.3
Ciprés	0.30 a	2.77 a	1.91 a	1.43 a	----- a	1.8
Cedro limón	2.31 bc	1.43 c	3.27 b	4.63 a	5.45 a	3.5
Thuja	---- - c	2.24 b	4.41 a	4.44 a	------ c	3.9
Falso ciprés	2.10 c	3.38 bc	4.56 b	7.02 a	5.39 b	4.8
Promedio	1.48	2.76	3.59	4.59	2.61	

Nota: Valores promedio en una línea seguidas de la misma letra no son estadísticamente **($p \leq 0.05$)** diferentes entre si.

Cuadro 10. Efecto de la temperatura en el substrato sobre la longitud de las raíces formadas en cinco especies de Cupresáceas

	Longitud de la raiz/estaquilla (cm)	
Especie	Sin temperatura	Con temperatura
Junipero	3.5 a	3.0 a
Ciprés	1.4 b	4.0 a
Cedro limón	4.2 a	2.8 a
Thuja	2.4 b	5.1 a
Falso ciprés	3.1 b	6.0 a
Promedio	2.7	3.9

Nota: Valores promedio en una misma linea seguidas de la misma letra no son estadisticamente **($p \leq 0.05$)** diferentes entre si.

Posición de las raíces formadas

Las raíces se formaron preferentemente en las heridas hechas a lo largo del tallo al establecer el ensayo, con un 66.6% de estacas en promedio de todas las especies. De hecho, en todas las especies se observó esta tendencia, con excepción del ciprés donde el mayor porcentaje de estacas que formaron raíces lo hicieron en la base de éstas (54.4%). La base de la estaca fue la segunda posición más importante de formación de raíces, con un 15.9% global de estacas de todas las especies. Por el contrario, el cuello de la estaquilla fue el lugar menos frecuente para la formación de raíces con excepción del falso ciprés en el cual se observó un mayor porcentaje de estacas con raíces que aparecieron en el cuello, que en la base (Cuadro 11). De estos resultados se deduce que la realización de cortes o heridas en las estaquillas es de gran influencia en la formación de raíz en estas especies, por lo que se recomienda esta práctica si se desea un mayor porcentaje de estacas enraizadas

Cuadro 11. Posición de las raíces formadas en las estacas (% de estacas) de cinco especies de Cupresáceas después de tres meses de enraizamiento

	Posición de aparición de la raíz (% de estacas)						
Especie	Base	Heridas	Cuello	Base + heridas	Base + cuello	Heridas + cuello	Base + cuello + heridas
Junipero	5.1	71.4	2.0	21.4	0.4	0.0	0.0
Ciprés	54.4	36.7	0.0	8.9	0.0	0.0	0.0
Cedro limón	13.8	76.1	5.5	3.7	0.0	0.0	0.9
Thuja	2.2	86.7	0.0	11.1	0.0	0.0	0.0
Falso ciprés	2.9	60.0	19.4	1.2	0.3	15.3	1.2
Promedio	15.9	66.6	5.5	8.4	0.1	3.1	0.4

CONCLUSIONES

Se lograron resultados favorables en la emisión de raíces adventicias en estaquillas juveniles de cinco especies de Cupresáceas, incluyendo junipero, ciprés, cedro limón, thuja y falso ciprés. Sin embargo, cada especie presentó un comportamiento y capacidad diferente para la formación de raíces. El análisis de varianza mostró efectos significativos ($p \leq 0.05$) de los dos factores evaluados (dosis de AIB y temperatura) sobre el porcentaje de estacas que formaron callos y raíces en todas las especies. La

interacción entre los factores anteriores también fue significativo en la mayoría de las especies.

La aplicación de AIB en solución líquida influyó favorablemente en todas las especies, en la formación de callo como de raíces adventicias, aunque en diferentes niveles para cada una de ellas. En la mayoría de las especies la dosis óptima para la formación de callo y raíces fluctuó entre 10,000 y 20,000 ppm. A diferencia de lo anterior, el uso del producto comercial Radix F-10,000 (con una concentración de diez mil ppm de AIB en polvo) no estimuló la formación de callos y/o raíces en la mayoría de las especies. En junípero, ciprés y cedro limón, el aumento de la temperatura en el substrato influyó en forma negativa en la formación de callos y raíces, lográndose mejores resultados en la cama sin calefacción. Sin embargo, en las otras dos especies (thuja y falso ciprés) el aumento de la temperatura si estimuló la formación de raíces.

La aparición de callos y raíces en todas las especies fue preferentemente en las heridas hechas a lo largo del tallo al establecer el ensayo, por lo que la realización de cortes o heridas en las estaquillas tiene una gran influencia en la formación de raíces en estas coníferas.

REFERENCIAS

Cooper, P. D. E. 1977. Effect of bottom heat in a mist propagation unit. Rept. Luddington Exp. Hortic. Sta. pp. 180-182.

Dirr, M.A. y C. W. Heuser. 1987. The reference manual of woody plant propagation from seed to tissue culture. University Press, Inc. Georgia, EUA. 239 p.

Haissig, B. E. 1974. Origins of adventitious roots. N. Z. J. For. Sci 4(2): 299-310.

Hartmann, H. T. Y D. E. Kester. 1990. Propagación de plantas, principios y prácticas Trad. al español por Antonio Marino. 4ª ed. México, CECSA. pp: 219-360.

Iglesia de la , G. J. 1992. Arboricultura general. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp:32-43.

Kelly, J. C. And J. G. D. LAMB. 1979. Nursery stock. An Foras Taluntais Ann. Rept. pp 21-32.

Kormanik, P. P. y C. L. Brown. 1974. Vegetative propagation of some selected hardwood forest species in the Southeastern United States. N. Z. J. For. Sci. 4(2): 228-234.

Loach, K. 1988. Controlling environmental conditions to improve adventitious rooting. *In:* Adventititious Root Formation in Cuttings. Dioscorides Press. Portland, Oregon, USA. pp: 249-273

Macdonald, B. 1986. Practical woody plant propagation for nursery growers. Vol. 1. Timber Press. U. S. A. pp: 219-276.

Mateo S., J. J. 1997. Efecto del AIB y temperatura del substrato en la formación de raíces adventicias en cinco especies de coníferas ornamentales. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 80 p.

Prasad, S., M. R. Murthy, R. Karoshi y M. Singh. 1996. Vegetative propagation of *Eucalyptus* species via Hidropit. Indian Forester 122(9):850-853.

Prieto R., J. A. 1992. Estudio de algunos factores que influyen en la propagación por estaquillas de *Cupressus guadalupensis S. Wats.* Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Rodríguez R., A. 1988. La multiplicación de las plantas y el vivero. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 165 p.

Rosas M., V. Teres., Y A. Artetxe.1994. Enraizamiento del *Xcupressocyparis Leylandii.* ITEA España No. 15.

Velarde F., G. 1989. El estaquillado, guía practica de multiplicación de las plantas. Ed. Mundi-prensa. Madrid, España. pp:39-69.