

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD Y VELOCIDAD DE ENRAIZAMIENTO
DE ESQUEJES DE PANDANO EN COSTA RICA

Trabajo final de investigación aplicada sometido a la
consideración de la Comisión del Programa de Estudios de
Posgrado en Estadística para optar al grado y título de Maestría
Profesional en Estadística

DIEGO VARGAS PÉREZ

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2011

Dedicatoria

A Dios por darme la capacidad y perseverancia necesarias para cumplir mis metas. A mi padre, Ademar, por brindarme la posibilidad de estudiar y enseñarme a luchar por lo que quiero. A mi madre, Fanny, por el cariño que siempre me ha demostrado y ser un ejemplo de lucha y perseverancia, a mis hermanos, Franciny, Jerling, David, Kendall y Sofía por ser una parte tan importante en mi vida y a Susana, por su apoyo incondicional para lograr esta meta. A todos ellos muchas gracias por formar parte de mi vida

Agradecimientos

Primero a Dios, porque Él lo es todo, después a mi familia, por su apoyo durante mis años de estudio. A la empresa que me permitió desarrollar este trabajo en sus instalaciones, a la profesora María Isabel González por dedicar su tiempo para ayudarme a desarrollar este documento, a los ingenieros Dennis Mora y Alfredo Durán por ser el enlace con la empresa y por su asesoría. A todos los profesores, por su aporte invaluable en el desarrollo de mis conocimientos. A todos ellos infinitas gracias.

“Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Estadística de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y Título de Maestría Profesional en Estadística.”



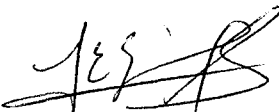
Magister. Fernando Ramírez Hernández
Representante de la Decana
Sistema de Estudios de Posgrado



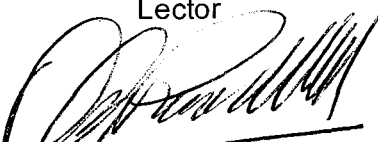
Magister. María Isabel González Lutz
Profesora Guía



Dr. Gilbert Brenes Camacho
Lector



Dr. Luis Enrique Gómez Alpízar
Lector



M.Sc. Olman Ramírez Moreira
Representante del Director
Programa de Posgrado en Estadística

Diego Vargas Pérez

Diego Vargas Pérez
Sustentante

Contenidos

RESUMEN.....	v
Tabla de Figuras	vi
Tabla de Cuadros.....	vi
I. Introducción.....	7
1.1. Problema de investigación	10
1.2. Objetivo general	11
1.3. Objetivos específicos.....	11
II. Marco teórico	12
2.1 Experiencia en producción de raíces	12
2.2 Regresión logística	15
2.2.1 Componente sistemático del modelo	17
2.2.2 Bondad de ajuste del modelo	18
2.2.3 Supuestos del modelo	18
2.3 Regresión de Poisson	19
2.3.1 Componente sistemático del modelo	20
2.3.2 Bondad de ajuste del modelo	21
2.3.3 Supuestos del modelo	21
2.4 Regresión binomial negativa	24
2.4.1 Componente sistemático del modelo	25
III. Diseño experimental y métodos	26
IV. Resultados	34
4.1 Descripción de las variables respuesta del primer experimento	34
4.2 Condición del esqueje	35
4.3 Número de raíces.....	35
4.4 Descripción de las variables respuesta del segundo experimento.....	37
4.5 Condición del esqueje	38
4.6 Número de raíces.....	39
V. Conclusiones y recomendaciones.....	41
5.1 Conclusiones.....	41
5.2 Recomendaciones.....	43
VI. Bibliografía	44
VII. Anexos.....	47

RESUMEN

Costa Rica es un país que a lo largo de su historia ha fundamentado su desarrollo económico y estabilidad nacional en el sector agrícola, según datos de la Promotora de Comercio Exterior (PROCOMER) el subsector exportador de plantas, flores y follajes representa aproximadamente un 2.4% del valor de las exportaciones costarricenses (Arias et al. 2006). Los ornamentales más comunes para la exportación son: flores, follajes y materiales de propagación. En los últimos años existe una tendencia en los mercados internacionales de importar en mayor cantidad plantas con raíz. Dentro de las plantas ornamentales de exportación se encuentran los pandanos, que son plantas semejantes a una palmera, no producen flores y en edades adultas pueden llegar a medir hasta diez metros de altura. En nuestro país existe una empresa dedicada a la exportación de pandanos a Europa, Estados Unidos y el Lejano Oriente; la experiencia en la producción de pandano para exportación no ha sido la mejor, los datos obtenidos hasta el momento indican que cerca del 50% de los esquejes de pandano mueren durante el proceso de enraizamiento, y aquellos que sí lo hacen no siempre se producen raíces de exportación, lo cual trae como consecuencia pérdidas económicas. El objetivo de este trabajo fue determinar si: la aplicación de zinc a la planta madre, el tipo de regulador de crecimiento, el tamaño del esqueje, el material de cultivo, el efecto continuado de zinc, edad de la planta madre y la dosis de regulador de crecimiento AIB, incidían en la productividad de esquejes de pandano, para así escoger los que produjeron mejores resultados respecto a sobrevivencia de los esquejes y producción de raíz. Para estudiar la variable sobrevivencia o condición del esqueje ("Vivo" o "Muerto") se utilizó el modelo de Regresión Logística; en tanto que para analizar la variable número de raíces, se empleó un modelo de regresión de Poisson; este modelo presentó problemas con el supuesto de equidispersión por lo que para corregirlo se decidió hacer uso del modelo de regresión Binomial Negativa. Los resultados evidencian que los esquejes pequeños y las plantas madres nuevas influyen de forma positiva en la condición del esqueje; mientras tanto la combinación de efecto continuado de zinc y dosis del regulador de crecimiento presentaron un efecto adverso respecto a la condición de los esquejes. En cuanto a la variable número de raíces, la combinación de esquejes pequeños sembrados en Turba aumentan el número de raíces; por otra parte el efecto continuado de zinc parece disminuir la cantidad de raíces. Los resultados encontrados permitieron determinar que los esquejes pequeños ayudan a obtener mayor producción de esquejes vivos, así como mayor cantidad de raíces logrando aumentar la cantidad de cosechas durante el año debido al corto tiempo de desarrollo que necesitan estos esquejes en la planta madre; así mismo permite tener un proceso de cosecha más estandarizado ya que sólo se utilizaría este tamaño. Adicionalmente, combinar esquejes pequeños sembrados en turba también incrementa el número de raíces. Al igual que lo señalado por la literatura, los esquejes provenientes de plantas madres nuevas tienen un mayor grado de sobrevivencia respecto a los que provienen de plantas madres viejas. Otro hallazgo de este trabajo fue evidenciar como el incumplimiento del supuesto de equidispersión en modelos de conteo de eventos puede llevar a malas estimaciones de los errores del modelo así como a conclusiones incorrectas.

Tabla de Figuras

Figura 1: Esquema de los factores utilizados en el primer experimento.....	27
Figura 2: Esquema de los factores utilizados en el segundo experimento.....	29

Tabla de Cuadros

Cuadro 1. Variables respuesta y variables explicativas utilizadas en el estudio. 2009 ..	33
Cuadro 2. Total de esquejes según condición. 2009	34
Cuadro 3. Total de esquejes según número de raíces. 2009	34
Cuadro 4. Razones de ventaja y probabilidades asociadas de cada factor probado sobre la condición del esqueje. 2009	35
Cuadro 5. Coeficientes, errores estándar y probabilidades asociadas de cada factor probado sobre el número de raíces. 2009	36
Cuadro 6. Distribución promedio del número de raíces según tamaño del esqueje y medio de cultivo. 2009.....	37
Cuadro 7. Total de esquejes según condición. 2009	38
Cuadro 8. Total de esquejes según número de raíces. 2009	38
Cuadro 9. Razones de ventaja y probabilidades asociadas de cada factor probado sobre la condición del esqueje. 2009	39
Cuadro 10. Cambios relativos y probabilidades asociadas de cada factor probado sobre el número de raíces. 2009	40

I. Introducción

Costa Rica es un país que a lo largo de su historia ha fundamentado su desarrollo económico y estabilidad nacional en el sector agrícola, al mismo tiempo, junto al sector industrial, son los pilares del proceso productivo. Sin embargo, por la alta vulnerabilidad de estos sectores, debido a factores exógenos y endógenos, se considera primordial establecer actividades productivas cada vez más organizadas, que se mantengan a la vanguardia de las diferentes condiciones del mercado.

La horticultura ornamental y concretamente las plantas ornamentales, es uno de los pocos subsectores de la agricultura que goza de una salud aceptable desde el punto de vista de la rentabilidad económica (Peris, 2008). Según datos de la Promotora de Comercio Exterior (PROCOMER) el subsector exportador de plantas, flores y follajes representa aproximadamente un 2.4% del valor de las exportaciones costarricenses, un total de 214 empresas costarricenses se dedican a la exportación de este tipo de productos, dirigidos aproximadamente a 60 países. (Arias et al. 2006).

En el año 2008 Costa Rica exportó un valor de US \$36.9 millones en flores y los tres principales mercados a los cuales se dirigieron estas exportaciones fueron: Estados Unidos, Canadá y Reino Unido; el primero de ellos ha sido tradicionalmente el más importante y recibió cerca del 90% de las exportaciones (Arce, 2009)

Las ornamentales más comunes para la exportación son: flores, follajes y materiales de propagación. Los materiales de propagación contemplan una gran cantidad de especies, las cuales se exportan en diferentes tamaños, con raíz, sin raíz o incluso con pequeños brotes de crecimiento radicular; lo anterior, de acuerdo con la variedad a exportar y a lo que exige cada país importador.

Las plantas sin raíz son cortadas de las plantaciones con el tamaño requerido, se seleccionan, empaican y se exportan. Una vez que llegan a los viveros de los países de destino se siembran en macetas para iniciar el proceso de enraizamiento.

Sin embargo, en los últimos años existe una tendencia en los mercados internacionales de importar en mayor medida plantas con raíz, de esta manera la planta prácticamente llega lista para ser vendida, pues solo se debe sembrar para iniciar su proceso de desarrollo. Esta tendencia es más rentable para los viveros extranjeros, con lo cual la planta pasa menos tiempo en sus instalaciones y esto permite trasladar de una u otra forma el costo y riesgo de enraizar plantas a los productores nacionales.

Dentro de las plantas ornamentales de exportación se encuentran los pandanos, que son plantas tropicales del género *Pandanus* pertenecientes a la familia de las *Pandanaceae*, que se encuentran repartidas por el Pacífico. Este género comprende a más de 600 especies diferentes, repartidas a todo lo largo del cinturón tropical (Lee, 1985).

El pandano es una planta meramente ornamental semejante a una palmera, que no produce flores, en edad adulta puede llegar a medir hasta diez metros de altura (Anexo 1), posee un tronco cuyo diámetro es igual de arriba abajo; numerosas raíces adventicias cuelgan desde el inicio del troco, éstas se trasladan en puntos variables dirigiéndose hacia el suelo, al que alcanzan después de un largo trayecto. El conjunto forma un haz piramidal que parece sostener al tronco (Anexo 2). En la parte superior de la planta se encuentra una gran cantidad de hojas que pueden llegar a medir hasta un metro o más de largo y entre 5 y 10 centímetros de ancho, su color es verde con rayas amarillas tanto en el centro como en los laterales. Estas hojas presentan una especie de espinas las cuales forman una sierra en los bordes, lo que dificulta su manipulación (Anexo 3). Los hijos o brotes de las plantas se desarrollan en la base del tronco, justo arriba de las raíces (Anexo 4), estos presentan (al igual que las madres) numerosas hojas. Cuando los hijos son desprendidos de las plantas madres, estos conservan unas yemas o callos de los cuales brotan las raíces que permiten el desarrollo de la nueva planta (Anexo 5). (http://www.uni-graz.at/~katzner/engl/Pand_ama.html)

En nuestro país existe una empresa que desde la década de los noventa se especializa en el cultivo, desarrollo y exportación de Bromelias y esquejes de plantas ornamentales. Varios de sus productos están patentados en Europa y Estados Unidos. La operación está localizada en el Valle Central del país a 800 metros sobre el nivel del mar, con un clima perfecto para la producción de plantas ornamentales.

Dicha empresa está constantemente mejorando la calidad de sus productos para satisfacer las necesidades de sus clientes, dando el mejor producto y servicio. Semanalmente realizan envíos a clientes de Europa, Estados Unidos y el lejano oriente.

La sede está ubicada en la Guácima de Alajuela. Ahí han incursionado en la producción de pandano para la exportación directa a mercados internacionales, siendo el mercado hotelero Europeo uno de los principales clientes.

La plantación principal se encuentra ubicada al aire libre, en un área dedicada exclusivamente al cultivo de pandano. El producto final de exportación, son esquejes de pandano con raíz, los cuales deben ser cosechados de las plantas madres, para que un esqueje pueda ser exportado debe presentar raíces firmes y de buena apariencia. Una vez cosechados, los esquejes se colocan en macetas donde comienzan su proceso de enraizamiento, que finaliza aproximadamente 8 semanas después de iniciado, cuando hayan alcanzado un número óptimo de raíces y una excelente calidad. Estos se empacan y exportan y una vez en el país de destino, se siembran para concluir su etapa de crecimiento y finalmente ser vendidos como planta ornamental.

Una de las principales limitaciones del cultivo de pandano es la poca literatura disponible, referente a su cultivo y optimización de producción, razón por la cual se ha incursionado en una investigación de tipo experimental, que permita determinar factores que pueden incidir positivamente en la productividad de esquejes, además de generar conocimiento respecto a este tipo de cultivo.

El experimento se enfoca en determinar los factores que influyen tanto en la condición del esqueje (“Vivo o “Muerto”) como en el número de raíces. Tradicionalmente los diseños experimentales son abordados mediante el análisis de varianza (ANOVA), el cual permite evaluar efectos individuales y conjuntos de dos o más factores sobre una variable dependiente cuantitativa. En el caso específico de la variable condición del esqueje, por tratarse de una variable categórica no es posible utilizar el ANOVA, razón por la cual es necesario encontrar una técnica apropiada para este tipo de variable. Por otra parte, la variable número de raíces por ser cuantitativa podría ser analizada utilizando diversas técnicas estadísticas, como el análisis de varianza o la regresión lineal; sin embargo cuando dicha variable se refiere a conteos escasos estas técnicas resultan inadecuadas, por lo tanto se deben emplear modelos alternativos como la regresión de Poisson que es una de las más utilizadas con variables de conteo.

1.1. Problema de investigación

La experiencia en producción de pandano para exportación no ha sido la mejor, los datos obtenidos hasta el momento indican que cerca del 50% de los esquejes de pandano mueren durante el proceso de enraizamiento¹. Aunado a esto, no todos los pandanos que sobreviven producen raíz, por lo que no pueden ser exportados-debido a la ausencia de raíz-, trayendo como consecuencia pérdidas económicas.

Con la misión de mantener los estándares de calidad en la producción, surge la necesidad de mayores controles en cuanto al manejo del cultivo, para lograr mejorar la producción. Dado lo anterior, se necesita determinar qué factores pueden mejorar la productividad del cultivo de pandanos para exportación.

En vista de la problemática existente -altos porcentajes de pandano muertos y no exportables-, se desea conocer la incidencia que pueden tener algunos factores en la productividad esquejes de pandano, los factores a evaluar son: aplicación de zinc, método de aplicación del regulador de crecimiento, tamaño del esqueje, medio de

¹ Datos suministrados por la empresa.

cultivo, efecto continuado de zinc, edad de la planta madre y dosis del regulador de crecimiento.

1.2. Objetivo general

El objetivo de este trabajo es evaluar la incidencia de factores de manejo de cultivo sobre la sobrevivencia de esquejes y la producción de raíces mediante diseños experimentales a fin de incrementar su exportabilidad.

1.3. Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto que presentan los factores: auxina de crecimiento, aplicación de zinc, dos medios de cultivo, dos tamaños de esqueje, dos edades de planta madre, efecto continuado de zinc y tres dosis de auxina de crecimiento sobre la sobrevivencia de esquejes de pandano.
2. Evaluar el efecto que presentan los factores: auxina de crecimiento, aplicación de zinc, dos medios de cultivo, dos tamaños de esqueje, dos edades de planta madre, efecto continuado de zinc y tres dosis de auxina de crecimiento sobre el número de raíces.
3. Aplicar dos experimentos para lograr determinar qué factores pueden maximizar la sobrevivencia de esquejes de pandano y el número de raíces.
4. Analizar el efecto de ignorar la equidispersión en los modelos de regresión para conteo de eventos.

II. Marco teórico

2.1 Experiencia en producción de raíces

El pandano se cultiva y se propaga a partir de brotes que se forman espontáneamente en las axilas de las hojas inferiores. Una práctica muy utilizada es el enraizamiento por medio de estacas del tallo (Avilán *et al*, 1992), la cual es una forma asexual de multiplicación con la cual se obtienen ciertas características como la uniformidad de las plantaciones, debido a que no hay variabilidad genética. También con esta técnica se acorta el período juvenil, al igual que las fases de floración y fructificación al emplear material de plantas adultas, aunque el éxito está relacionado con el tamaño y tipo de estaca o esqueje. El medio de enraizamiento o sustrato y el uso de reguladores de crecimiento son otros factores que influyen (Hartmann y Kester, 2001).

Al ser el esqueje uno de los factores que influyen en el proceso de enraizamiento de la planta se utilizan dos tamaños diferentes: pequeños (entre 25 y 30 cm) y grandes (entre 40 y 45 cm). Los avances en el conocimiento de la producción de esquejes y de su proceso de enraizamiento han sido muy buenos. El objetivo de la multiplicación por esquejes sigue siendo el mismo: conseguir esquejes enraizados de calidad, que respondan bien y rápidamente al trasplante (tengan un porcentaje de supervivencia muy alto), presenten gran uniformidad y sean la mejor base para alcanzar plantas de calidad.

El pandano es muy particular en lo que a movilidad de zinc se refiere, este nutriente es muy escaso en esta planta, de forma que se encuentra concentrado mayoritariamente en la raíz. Una de las funciones del zinc es la de sintetizar y conservar auxinas, que son hormonas vegetales involucradas en el crecimiento y la expansión de hojas, lo que refleja la importancia que tiene el zinc dentro de la planta.

Una deficiencia severa de zinc ocasiona roseteado u ondulado de las hojas y muerte regresiva del brote, una deficiencia moderada ocasiona hojas pequeñas con bordes

ondulados y clorosis uniforme, las hojas deformes reducen la elaboración de carbohidratos; en casos extremos de deficiencia de zinc hay baja o nula producción de raíces. (Medina, 2000).

Como se mencionó con anterioridad, el medio de cultivo juega un papel importante en los procesos de enraizamiento de plantas; este debe cumplir tres funciones primordiales, a saber: sustentar la estaca en el periodo de enraizamiento, proporcionar humedad y permitir la oxigenación; (Rivero *et al*, 2005). Existe una gran variedad de medios, siendo los más utilizados: turba, musgo, corteza humificada, aserrín, vermiculita, perlita, burucha y arena. Si bien es cierto no existe un medio de cultivo ideal (esto depende de cada especie), sí es conocida su incidencia en la calidad de las raíces (Santelices & Cabello, 2006). Así las estacas de cada especie pueden desarrollar raíces de diferente longitud y cantidad, dependiendo del medio de cultivo que se haya utilizado (Bärtels, 1989). Rivero *et al* (2005) encontraron diferencias significativas entre los medios de cultivo en cuanto a los porcentajes de estacas enraizadas y longitud de las raíces de semeruco. Otro resultado que mencionan estos autores indica que al evaluar el efecto de seis sustratos diferentes sobre el porcentaje de estacas vivas en *Prunus sp*, se encontró que el mejor medio de enraizamiento fue el compuesto por 50% de arena + 50% de estiércol, con el que se obtuvo un 80% de supervivencia de estacas. Esto permite demostrar que en algunos casos este factor incide en la supervivencia y calidad de raíz obtenida.

En muchas plantas el enraizamiento es un proceso espontáneo, mientras que en otras se ha comprobado que la aplicación de ácido indolacético (AIA) y las auxinas sintéticas como el ácido indolbutírico (AIB) y ácido naftalenacético (ANA) estimulan el enraizamiento (Acosta *et al*, 2000; Hartmann & Kester, 2001).

Loaiza (2004), indica que las auxinas estimulan la expansión celular y también la división celular, y frecuentemente fomentan el desarrollo de callos, de los que se desprenden crecimientos similares a raíces.

El ácido indolbutírico (AIB) es un regulador enraizante de uso habitual en viveros y cultivos para ensayos de enraizamiento de estacas. Este regulador pertenece al grupo de las Auxinas sintéticas (creadas artificialmente en laboratorios y que tienen igual acción que las naturales), que funcionan como reguladoras del crecimiento vegetal. Uno de los principales usos de las auxinas en la agricultura ha sido en la multiplicación asexual de plantas, sea por estacas, esquejes, etc. El AIB es la auxina más utilizada para este efecto por su estabilidad y poca movilidad.

El arraigamiento de estacas para algunas especies está condicionado por la planta madre de donde provienen, razón por la cual este factor se evalúa en el experimento. Para muchas plantas hay un factor genético que limita el proceso de rizogénesis, existiendo clones con mayor o menor capacidad para producir raíces. Por ejemplo, con algunos clones de *Eucalyptus globulus*, se pueden conseguir altas tasas de arraigamiento, pero con otros puede llegar a ser nula. Al respecto Santelices (2005) encontró que existe una marcada influencia del árbol madre en el proceso de rizogénesis en estacas de *Nothofagus alessandrii*; pues a medida que aumenta la edad de la planta madre, tiende a disminuir la capacidad de enraizamiento del material a propagar.

Anteriormente se mencionó la importancia que tiene el uso del ácido indolbutírico (AIB) en la producción de raíces, pero además es importante la dosis utilizada de este regulador, así mismo existen investigaciones en las cuales se ha demostrado que el AIB tiene un límite óptimo en cuanto a la dosis necesaria para mejorar el crecimiento de plantas, así como el aumento en el número de raíces. Omodeo *et al* (2007) determinaron que el aumentar la cantidad de regulador para enraizamiento no tiene efecto alguno sobre la calidad del acodo de las cañas de *Dracaena Marginata*.

Resultado similar obtuvieron Latsague *et al* (2007) en el estudio de inducción de enraizamiento de *Berberidopsis corallina*, pues lograron inducir el desarrollo de raíces en todos los tratamiento probados sin encontrar diferencias significativas entre las

distintas concentraciones hormonales ensayadas (500 mg/L⁻¹, 1.000 mg/L⁻¹ y 1.500 mg/L⁻¹). Sin embargo señalan que aunque la asociación de la aplicación del regulador y la producción de raíces no fue significativa, se produjo una mejor respuesta con las dosis bajas de AIB, entre 500 mg L⁻¹ y 1.000 mg L⁻¹.

Por su parte Arguello *et al* (2006), encontraron que es posible utilizar la dosis más baja de auxina AIB sin disminuir la exportabilidad ni deteriorar la calidad de las cañas de *Dracaena Marginata*. De una forma similar, Santelices & Cabello (2006); hallaron que la respuesta de arraigamiento en las estacas de *Nothofagus glauca* aumentó a medida que la concentración de AIB alcanzó hasta 1% (obteniéndose 88% de estacas enraizadas), para luego disminuir con una concentración de 2%.

En este punto es importante recordar el hecho de que todos los factores de los que se ha hablado anteriormente, van a ser utilizados para poder determinar cuáles favorecen las dos variables de interés; a saber: la condición de los esquejes (vivos y muertos) y el número de raíces de los esquejes, estas dos variables van a ser analizadas cada una con una técnica distinta, la condición del esqueje por medio de regresión logística por ser una variable dicotómica y el número de raíces con regresión de Poisson por ser una variable de conteo con media cercana a cero.

2.2 Regresión logística

La regresión logística se utiliza para modelar una variable de respuesta dicotómica, es decir que solo pueden presentar dos condiciones. El uso de este tipo de regresión en el presente trabajo se justifica por el deseo de modelar la supervivencia de los esquejes, cuyas categorías son vivos o muertos.

El análisis de regresión logística tiene como finalidad principal pronosticar la probabilidad de ocurrencia de un suceso, definida una variable dependiente que asume el valor uno cuando ocurre el suceso de interés y cero en ausencia del suceso (Faraway, 2006). Para identificar en qué se diferencian estos dos grupos, es necesario

disponer de información (cuantificada de una serie de variables) en la cual se supone se diferencian, es decir, la predicción se realiza en función de un conjunto de variables independientes con capacidad explicativa respecto a la variable dependiente (Hosmer & Lemeshow, 2000).

En el modelo de regresión lineal para dos variables cuantitativas la relación entre las variables se expresa mediante la ecuación: $Y = \beta_0 + \beta_1 X$, su representación gráfica es una recta en el plano definido por las variables X e Y. El coeficiente β_0 define el origen de la recta (el punto en el que la recta corta el eje de las coordenadas) y el coeficiente β_1 define la pendiente de la recta (su inclinación respecto del eje de las abscisas). Esta recta de regresión lineal puede extenderse ilimitadamente por cualquiera de sus extremos conforme los valores de la variable independiente (X) van aumentando o disminuyendo. Consecuentemente, las predicciones realizadas por la recta para la variable Y (cuando esta es dicotómica) pueden alcanzar valores inaceptables como serían probabilidades mayores a uno o menores a cero (Faraway, 2006).

Llevar a cabo pronósticos erróneos mediante regresión lineal es particularmente probable cuando la variable dependiente no es cuantitativa sino dicotómica: cuando se utiliza un modelo lineal para pronosticar probabilidades es posible encontrar pronósticos menores que cero y mayores que uno, como ya se había mencionado. En estos casos, es preferible utilizar funciones que permitan efectuar predicciones comprendidas entre un mínimo y un máximo (por ejemplo, una curva con un suelo y un techo en sus valores; aunque el inconveniente de este tipo de funciones es que su formulación matemática es algo más compleja que la formulación de una recta). Una de estas funciones, muy utilizada es la curva logística, cuya formulación matemática es:

$$y = p(x) = \frac{e^{(\alpha + \beta_i X_i)}}{1 + e^{(\alpha + \beta_i X_i)}}$$

La fórmula de la ecuación o curva logística permite asignar valores en la variable dependiente (Y) a partir de valores en las variables independientes (X) igual que una ecuación de regresión lineal, pero con la particularidad de que los valores pronosticados nunca serán mayores que uno ni menores que cero (Agresti, 2002). Según se ha señalado ya, esta propiedad es especialmente útil cuando se intenta pronosticar probabilidades.

2.2.1 Componente sistemático del modelo

Para la estimación de los modelos con variables dependientes dicotómica se encuentran los modelos: logit, probit y tobit (Gujarati, 1997). De la misma manera que en la Regresión de Poisson, estos modelos pertenecen a la familia de los modelos lineales generalizados. En la presente investigación se utilizará el modelo logit, por ser el de mayor uso y ser fácil de interpretar en cuanto a sus coeficientes (Gujarati 1997).

Para la interpretación de los coeficientes, el modelo logístico se puede reescribir en términos de los "odds" de la ocurrencia de un evento. Los "odds" de que ocurra un evento se definen como el cociente de la probabilidad de que ocurra el evento a la probabilidad de que no ocurra el evento (Hernández, 1998), tal y como se muestra a continuación:

$$g(x) = \ln \left[\frac{p(x)}{1-p(x)} \right] = \alpha + \beta_i x_i$$

Donde α es una constante, X_i es el vector de variables explicativas, $p(x)$ es la probabilidad de ocurrencia del evento en estudio y β_i el vector de coeficientes del modelo. A la expresión $\frac{p(x)}{1-p(x)}$ se lo conoce como "odds" o ventaja.

A la transformación logarítmica de la función $p(x)$ se le conoce como "logito". El coeficiente logístico β_i para la variable explicativa i , se puede interpretar como el cambio que se produce en el logaritmo del "odds" al aumentar en una unidad la

variable explicativa X_i , cuando esta es continua. Para una mejor comprensión de la interpretación se construyen los “odds ratio”. El “odds ratio” es la relación entre el “odds” de una categoría para la variable explicativa y el “odds” de la categoría base.

2.2.2 Bondad de ajuste del modelo

La bondad de ajuste del modelo se puede medir usando el estadístico χ^2 de Pearson que toma la forma:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - n_i \hat{p}_i)^2}{n_i \hat{p}_i (1 - \hat{p}_i)}$$

Donde y_i es el número de casos donde ocurre el evento entre las observaciones que tienen una misma combinación de valores de las variables explicativas, n_i es la cantidad de observaciones con una misma combinación de valores de las variables explicativas y \hat{p}_i es la probabilidad de ocurrencia del evento.

Este valor tiene una distribución Ji cuadrado con $n-k$ grados de libertad, donde k es la cantidad de variables independientes del modelo más uno. El valor Ji cuadrado de Pearson es análogo a la suma de cuadrados residual usada en regresión lineal (Faraway, 2006).

2.2.3 Supuestos del modelo

Si la especificación del modelo es correcta, se espera que la devianza residual se aproxime a una distribución Ji cuadrado con los apropiados grados de libertad. Algunas veces se observa que la devianza es más grande de lo esperado, si el modelo es correcto en estos casos es necesario determinar qué aspecto de la especificación del modelo es incorrecto. La explicación más común es que la forma estructural del modelo es incorrecta, no se incluyeron los predictores correctos o no se transformaron o combinaron estos de forma correcta (Faraway, 2006).

Faraway (2006), dice que este tipo de comportamiento de la devianza es lo que se le conoce como sobre dispersión, cuando el cociente de la devianza entre los grados de

libertad muestra un valor mayor que 1; mientras que si el valor es inferior a 1, existe presencia de infradispersión.

2.3 Regresión de Poisson

Un resultado importante en muchas investigaciones, es el conteo de cuántas veces algún evento ha ocurrido; este tipo de conteo es entero positivo. Típicamente se utilizan los modelos de Poisson para modelar conteos (Rabe & Skrondal, 2008 citado en Vives).

La aplicación de este modelo de regresión en el presente trabajo se debe al deseo de modelar el número de raíces que producen los esquejes vivos, la cual va a ser medida como un conteo del total de raíces de cada esqueje.

Cuando la respuesta a cierto fenómeno de interés es un conteo (entero positivo), necesitamos utilizar un modelo de regresión de conteo para poder explicar esa respuesta en términos de predictores dados. Algunas veces el total del conteo tiene un límite, en estos casos es posible utilizar una regresión para respuestas binomiales. En otros casos, los conteos pueden ser suficientemente extensos para asumir que presentan un comportamiento aproximadamente normal y con ello justificar que se ajuste un modelo de regresión lineal (Faraway, 2006). Sin embargo el modelo más utilizado para este tipo de variable respuesta, es el de Poisson.

Para poder identificar un proceso Poisson se deben verificar tres condiciones (Faraway, 2006):

1. Los sucesos deben ser puntuales: los sucesos ocurren dentro de un espacio o tiempo, es decir, en el espacio un suceso es puntual y en el tiempo es instantáneo.
2. Los sucesos deben ser independientes: la ocurrencia de un suceso en un lugar del continuo no condiciona la ocurrencia del anterior.

3. Las probabilidades deben ser constantes: la probabilidad de ocurrencia de un suceso en un lugar del continuo es la misma en todo punto del mismo.

La fórmula de probabilidad de una distribución de Poisson es la siguiente:

$$\Pr(y | \mu) = \frac{e^{(-\mu)} \mu^y}{y!}$$

Donde: μ es el valor esperado de y y viene dado por $\mu = \sigma^2$.

Finalmente, resulta conveniente señalar que los modelos de regresión de Poisson deben utilizarse en presencia de probabilidades de éxito pequeñas, además, aunque no sea este el caso, cuando la probabilidad de ocurrencia de un evento en un intervalo de tiempo es proporcional al ancho de ese intervalo de tiempo y es independiente de la ocurrencia de otros eventos (Faraway, 2006).

2.3.1 Componente sistemático del modelo

Cuando los conteos son observados para diferentes unidades i caracterizadas por covariables, la media μ_i se modela usualmente usando el modelo log-lineal (Rabe & Skrondal, 2008). Para una sola covariable x_i el modelo de regresión se especifica como:

$$\ln(\mu_i) = h + \beta x_i$$

Y se puede deducir que para un modelo con más de una variable independiente x_i la fórmula se modifica agregando parámetros β_i por cada variable adicional.

Una buena característica de la anterior ecuación (función log-link) es que para interpretar el coeficiente en términos de la variable respuesta se debe exponenciar el valor del coeficiente [$\exp(\beta)$], y puede ser interpretado como el número de veces que es mayor el conteo medio de casos, al cambiar en una unidad la variable explicativa y

manteniendo constante las demás variables explicativas. También se puede interpretar como el aumento relativo promedio por cada unidad de aumento en x_i .

2.3.2 Bondad de ajuste del modelo

Faraway (2006) señala que es posible evaluar la bondad de ajuste del modelo propuesto comparando la deviancia del modelo contra una ji cuadrado con grados de libertad igual a los del modelo. La deviancia para la regresión de Poisson viene dada por:

$$D = 2 \sum_{i=1}^n (y_i \ln(y_i / \mu_i) - (y_i - \hat{\mu}_i))$$

La deviancia de la regresión de Poisson también es conocida como el estadístico G^2 .

Otra forma de evaluar el ajuste del modelo sugerido por Faraway (2006), es el Ji cuadrado de Pearson, cuya fórmula se muestra a continuación:

$$\chi^2 = \frac{\sum_i (y_i - \hat{\mu}_i)^2}{Var(\hat{\mu}_i)}$$

donde y_i es el conteo en el caso i y $\hat{\mu}_i$ es el valor estimado del conteo del caso i . El estadístico tiene una distribución Ji cuadrado con grados de libertad igual a la diferencia entre el total de datos y la cantidad de parámetros del modelo. Este valor permite evaluar el grado de cercanía entre los valores observados y los esperados que genera el modelo.

2.3.3 Supuestos del modelo

Un problema que se da con cierta frecuencia en los modelos de regresión de Poisson, es que la relación media-variancia de los datos empíricos no se ajusta a la relación media-variancia caracterizada por la distribución subyacente teórica. De esta forma, cuando la variancia observada es mayor que la variancia nominal, es decir, la variancia

definida por la distribución de referencia, existe un problema de sobredispersión (overdispersion), mientras tanto en el caso contrario, cuando el problema reside en que la variancia observada es inferior a la nominal existe infradispersión (underdispersion). Ambas situaciones se ejemplifican con las siguientes desigualdades (Vives 2002):

- $\text{Var}(y_i | x_i) > E(y_i | x_i)$, situación que define la sobredispersión
- $\text{Var}(y_i | x_i) < E(y_i | x_i)$, es decir, infradispersión

En la práctica el cumplimiento del supuesto de equidispersión (presencia de variancia nominal), es más la excepción que la norma, se sabe además que en ausencia de equidispersión, es mucho más frecuente una situación de sobredispersión que de infradispersión. De hecho, las pruebas para evaluar equidispersión son denominadas comúnmente pruebas de sobredispersión.

Cuando el modelo usado para analizar los datos de conteo, no cumple con el supuesto de equidispersión, las estimaciones de los errores estándar pueden resultar sesgadas, pudiendo llevar a errores en las inferencias a partir de los parámetros del modelo de regresión.

Ante esta situación, resulta imprescindible disponer tanto de pruebas para el diagnóstico de la equidispersión, como de procedimientos para poder corregirla o abordarla.

En cuanto al diagnóstico, (Lindsey 1995, citado en Vives) propone aplicar el coeficiente de variación como indicador para evaluar el supuesto de equidispersión, este se define como la razón entre la variancia estimada y la media estimada: $\frac{\text{Var}(\mu_i)}{\mu_i}$

Puesto que teóricamente, $\text{Var}(\mu_i) = \mu_i$, el coeficiente de dispersión debería ser igual a 1. Así, desviaciones respecto a 1 indican que posiblemente la distribución no es Poisson; concretamente, si el coeficiente es mayor que 1 posiblemente exista sobre dispersión. Por otro lado, un coeficiente menor que 1 es indicador de infra dispersión.

Otra prueba frecuentemente utilizada para determinar el cumplimiento del supuesto de equidispersión, resulta de dividir el valor de Ji cuadrado de Pearson entre los grados de libertad del modelo, obteniéndose de esta manera, otro indicador que al presentar valores por encima de 1 señalan presencia de sobredispersión y valores inferiores a 1 indican infradispersión.

En cuanto al tratamiento de la sobredispersión, Vives (2002) señala tres grandes estrategias basadas en:

- Modelos basados en distribuciones mixtas, de ellos el más habitual es el Modelo de Regresión Binomial Negativa, cuyas caracterizaciones principales son:
 - La función variancia Negbin I: $\text{Var}(y_i | x_i) = \mu_i + \alpha\mu_i$
 - La función variancia Negbin II: $\text{Var}(y_i | x_i) = \mu_i + \alpha\mu_i^2$
- Modelos específicos, conocidos como extensiones, que modifican el modelo de datos de recuento de referencia para incorporar la sobredispersión debida a un error de especificación determinado.
- Modelos con variancia generalizada con alternativas paramétricas y semiparamétricas. Siendo esta última, de las dos alternativas, la más utilizada y caracterizada por asumir una función variancia del tipo $\text{Var}(y_i | x_i) = \phi\mu_i$, donde el parámetro de escala $\phi = \sigma^2$ debe ser estimado a través de pseudo máxima verosimilitud.

Cameron y Trivedi, 1998 (citados en Vives), también mencionan la posibilidad de corregir directamente el error estándar a través de técnicas relacionadas con la simulación, como: sándwich, jackknife y bootstrap; sin embargo advierten que estos procedimientos sólo pretenden corregir la infraestimación de los errores estándar de los coeficientes en presencia de sobredispersión, mientras que los otros modelos mencionados (diferentes a la simulación) pretenden modelar directamente la causa de la sobredispersión.

De los modelos para datos de conteo en ausencia de equidispersión, tanto Faraway (2006), como Vives (2002) coinciden que los modelos mixtos son los más utilizados,

principalmente por poseer la ventaja de incrementar la eficiencia; siendo sin duda, el modelo de regresión binomial negativa el miembro de esta categoría que se aplica con mayor frecuencia, razón por la cual de ser necesario, en el presente estudio se utilizará esta técnica ante la posible presencia de sobre o sub dispersión en el modelo Poisson.

Una de las formas de controlar la sobredispersión consiste en modelar los datos con una aproximación de la binomial negativa a la Poisson, el modelo resultante se asemeja mucho al de Poisson, con la única diferencia de que los errores estándar estimados ya no van a estar sesgados, debido a que este modelo de aproximación considera la presencia de sobredispersión, corrigiendo los errores y reportando generalmente errores estándar mucho mayores a los obtenidos con el modelo Poisson en presencia de sobredispersión, lográndose con esto inferir, a partir de los parámetros estimados.

2.4 Regresión binomial negativa

Al igual que el modelo Poisson, la regresión binomial negativa es utilizada para modelar el conteo de ocurrencias de un evento de interés.

En el presente trabajo se puede utilizar este modelo, debido al deseo de emplear la variable número de raíces, y ante la eventual presencia de sobredispersión en el modelo Poisson.

El modelo de regresión binomial negativa es usado frecuentemente cuando el modelo Poisson presenta incumplimiento del supuesto de equidispersión (Agresti 2002). Vives (2002) señala que una forma de relajar la conocida restricción de igualdad media-varianza del modelo de regresión de Poisson es especificar una distribución que permita un modelo más flexible de la varianza, el cual se lleva a cabo por medio del modelo de regresión binomial negativa.

La distribución de probabilidad Binomial Negativa es:

$$\Pr(z) = \binom{z-1}{k-1} p^k (1-p)^{z-k}$$

Donde: z es el número de ensayo donde ocurre el éxito, k es el número de éxitos y p es la probabilidad de éxito. Podemos tener una parametrización más conveniente si hacemos $y = z - r$ y $p = (1 + \alpha)^{-1}$, que daría como resultado:

$$\Pr(y) = \binom{y+r-1}{r-1} \frac{\alpha^y}{(1+\alpha)^{y+r}}$$

Además la distribución binomial negativa tiene: $E(y) = k\alpha = \mu$ y $Var(y) = k\alpha + k\alpha^2 = \mu + \frac{\mu^2}{k}$

2.4.1 Componente sistemático del modelo

Al igual que en el modelo Poisson, necesitamos una manera conveniente de relacionar la variable dependiente con la combinación lineal de variables explicativas, que se logra por medio de la siguiente función de enlace: $\eta = x^T \beta = \ln\left(\frac{\mu}{\mu + k}\right)$.

Para interpretar el coeficiente en términos de la escala de medida de la variable respuesta, se debe exponenciar el coeficiente obtenido en el modelo: $\mu_i = \exp^{x_i \beta}$; este valor se puede interpretar como los aumentos relativos en los conteos por cada unidad de aumento en x_i ; otra forma de interpretarlo es, el número de veces en que es mayor el conteo medio de casos, al cambiar en una unidad la variable explicativa, manteniendo constante todas las otras variables.

III. Diseño experimental y métodos

En el país y el resto del mundo, es muy escaso el conocimiento que se tiene acerca de la producción de pandano, misma razón por la cual ha resultado muy difícil poder contrarrestar las pérdidas económicas presentadas en la empresa como consecuencia del elevado número de muerte de esquejes y la gran variabilidad en cuanto a la velocidad de enraizamiento que presentan aquellos esquejes que logran sobrevivir.

Como consecuencia de este desconocimiento que se tiene del pandano y la necesidad de encontrar factores que incidan de manera positiva en la productividad de sus esquejes, fue necesario llevar a cabo un diseño experimental que debía contar con una gran cantidad de factores, pues el objetivo era escoger los factores que produjeran los mejores resultados de sobrevivencia y producción de raíz. Debido a la escasa movilidad de zinc en el pandano se quiso probar el efecto de aplicar este factor en las plantas madres en una primera etapa y luego continuar aplicándolo durante un periodo de tiempo más largo (efecto continuado del zinc), esta decisión dio como resultado la necesidad de realizar dos experimentos y no uno como se había planteado originalmente; otra de las razones que influyeron en la decisión de realizar dos experimentos es el elevado número de factores que se debieron probar, así mismo sería una manera más adecuada de manejar la gran cantidad de factores y de interacciones que se realizan en los experimentos exploratorios, como este.

En el primer experimento se utilizó un diseño irrestricto aleatorio con arreglo factorial de cuatro factores, "tamaño del esqueje" (grande y pequeño), "aplicación de zinc" (con zinc y sin zinc), "medio de cultivo" (turba y burucha) y "tipo de aplicación del regulador", (polvo y líquido); los cuatro factores son a 2 niveles, resultando con ello un total de 16 tratamientos. Un detalle importante de resaltar es que se utilizaron todos los esquejes disponibles, para este primer diseño se logró cosechar 128 esquejes (unidades de medición), con esta cantidad de esquejes se obtuvieron 8 réplicas o

repeticiones, en la siguiente figura se muestra un esquema que ejemplifica de una forma más clara el uso de los factores:

Figura 1: Esquema de los factores utilizados en el primer experimento.

Tamaño del esqueje	Aplicación de zinc	Medio de cultivo	Método de aplicación regulador	Id del tratamiento
Esqueje grande	Con zinc	Turba	Polvo	G Z T P
			Líquido	G Z T L
		Burucha	Polvo	G Z B P
			Líquido	G Z B L
	Sin zinc	Turba	Polvo	G sZ T P
			Líquido	G sZ T L
		Burucha	Polvo	G sZ B P
			Líquido	G sZ B L
Esqueje pequeño	Con zinc	Turba	Polvo	P Z T P
			Líquido	P Z T L
		Burucha	Polvo	P Z B P
			Líquido	P Z B L
	Sin zinc	Turba	Polvo	P sZ T P
			Líquido	P sZ T L
		Burucha	Polvo	P sZ B P
			Líquido	P sZ B L

Los 128 esquejes cosechados provenientes de plantas madres fueron distribuidos de la siguiente forma: 64 esquejes pequeños (entre 25 y 30 cm) y 64 esquejes grandes (entre 40 y 45 cm). De estas plantas unas contaban con aplicación de zinc, a las cuales se les aplicaban tres aspersiones durante la etapa de crecimiento en una concentración de 0.300 ppm; en tanto que a otras plantas no se les aplicó zinc, luego de esto los esquejes se podaron (recortaron las puntas) para facilitar su manipulación. Los esquejes fueron sometidos a una aplicación de auxina AIB en dos sistemas distintos de aplicación: líquida (500 mg/L) mediante inmersión de los esquejes durante 15 segundos; y polvo (8000 mg/L) el cual se le aplicó a la base de cada esqueje, 64 esquejes fueron plantados cada uno en una maceta cuyo medio de cultivo era burucha de madera y los restantes 64 esquejes se plantaron en macetas individuales con turba rubia, que al poseer un alto contenido de materia orgánica, permite al esqueje germinar y enraizar con facilidad.

Este proceso se llevó a cabo el día 16 de octubre del 2008, las macetas fueron colocadas en bandejas y situadas en el centro de unas mesas llamadas "camas", se colocó en las orillas una hilera de bandejas con pandanos no experimentales (pandanos sembrados bajo las condiciones acostumbradas) para que sirvieran de borde. La aleatorización de los tratamientos inició con la aplicación de zinc a las plantas madre, luego se aleatorizaron los esquejes en los dos medios de cultivo y finalmente los dos sistemas de aplicación del regulador de crecimiento.

La recolección de datos se hizo el 28 de enero de 2009 (doce semanas más tarde), el procedimiento consistió en anotar la cantidad de esquejes que estaban vivos, luego de esto se procedió a extraer cada esqueje de la maceta con cuidado, para no quebrarle las posibles raíces desarrolladas, seguidamente se anotó el número de raíces que cada esqueje presentaba.

Para el segundo experimento, que se realizó debido al deseo de evaluar el efecto continuado del zinc, se utilizó un diseño irrestricto aleatorio con arreglo factorial, con 4 factores, 3 factores a dos niveles y 1 factor a tres niveles, los efectos a evaluar fueron: edad de la planta madre, efecto continuado de la aplicación de zinc, tamaño del esqueje y dosis de regulador líquido. Para la variable "edad de la planta madre" se consideraron dos niveles: *viejas*, que son plantas que han producido al menos tres cosechas y *nuevas*, plantas que sólo han producido una cosecha. Para cada tipo de madre se eligieron dos "tamaños de esqueje", pequeño (entre 25 y 30 cm) y grande (entre 40 y 45 cm), sin embargo para las plantas nuevas, debido a la escasa producción, no se lograron obtener esquejes grandes por lo que se trabajó únicamente con esquejes pequeños. Cada esqueje provenía de dos grupos, el primero contaba con aplicación continuada de zinc, y el otro grupo no tenía aplicación de zinc. Finalmente, se agregaron tres dosis de regulador líquido a cada grupo, bajo las concentraciones de 250, 500 y 1000 mg/L, la cual se aplicó a la base de cada esqueje, por medio de sumergimiento durante un minuto. A continuación se muestra un esquema que ayuda a entender el manejo de los factores:

Figura 2: Esquema de los factores utilizados en el segundo experimento.

Planta madre	Aplicación de zinc	Tamaño del pandano	Dosis del regulador	Id del tratamiento
Nueva	Con zinc	Pequeño	250	N Z P 250
			500	N Z P 500
			1000	N Z P 1000
	Sin zinc	Pequeño	250	N sZ P 250
			500	N sZ P 500
			1000	N sZ P 1000
Vieja	Con zinc	Grande	250	V Z G 250
			500	V Z G 500
			1000	V Z G 1000
		Pequeño	250	V Z P 250
			500	V Z P 500
			1000	V Z P 1000
	Sin zinc	Grande	250	V sZ G 250
			500	V sZ G 500
			1000	V sZ G 1000
		Pequeño	250	V sZ P 250
			500	V sZ P 500
			1000	V sZ P 1000

La definición del número de repeticiones se realizó, al igual que en el primer experimento; al tomar en cuenta la cantidad de pandanos disponibles, la combinación de todos los factores genera un total de 18 tratamientos, el número de repeticiones fueron 8, para un total de 144 esquejes o unidades de medición.

Para la aleatorización de los tratamientos, se formaron grupos según edad de la planta, tamaño del esqueje y aplicación o no de zinc. Una vez hechos los grupos, se asignó aleatoriamente a cada uno de ellos la dosis de regulador a aplicar. Cada esqueje de pandano se colocó en una maceta, con la respectiva identificación del tratamiento. Las macetas se ubicaron en unas bandejas, y éstas se situaron en camas. Para controlar que todas las plantas estuvieran en las mismas condiciones, se construyó un borde que rodeaba el sitio del experimento.

El diseño de campo de este segundo experimento se desarrolló el 13 de noviembre del 2008 y los datos se recolectaron el día el 28 de enero del 2009, para una duración total de 10 semanas.

En ambos experimentos, tanto la unidad de medición como la unidad experimental es un esqueje; en cuanto a la variable respuesta se utilizaron dos: condición del esqueje (vivo o muerto) y el número de raíces. Para la variable condición del esqueje, se clasificó como vivo, enumerando aquellos que contaban con un color verde y cuya textura era firme; el número de raíces se determinó contando la cantidad de raíces que tenía cada uno de los esquejes vivos.

Desde el desarrollo del experimento y hasta la recolección de los datos, en la zona de la Guácima de Alajuela se presentaron temperaturas medias cercanas a los 22.5 grados Celsius, con una humedad relativa de aproximadamente 78% y lluvias cercanas a 173 milímetros por metro cuadrado (Instituto Meteorológico Nacional).

Las interacciones dobles que se analizaron en el primer experimento, tanto para la variable "condición del esqueje" así como "número de raíces" fueron las siguientes: "tamaño del esqueje*aplicación de zinc", "tamaño del esqueje*medio de cultivo", "tamaño del esqueje*tipo de aplicación", "aplicación de zinc*tipo de aplicación", "aplicación de zinc*medio de cultivo" y "medio de cultivo*tipo de aplicación".

En el primer experimento los valores obtenidos para la variable respuesta, condición del esqueje, se interpretan con respecto a los esquejes muertos, y el "Odds Ratio" para las variables independientes respecto a: las plantas madres que no cuentan con aplicación de zinc, los esquejes grandes, sembrados en burucha y con aplicación líquida del regulador de crecimiento, el modelo teórico utilizado viene dado por la siguiente ecuación:

$$\ln\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 \text{Zinc} + \beta_2 \text{Medio} + \beta_3 \text{Método} + \beta_4 \text{Tamaño} + \beta_5 \text{Zinc} * \text{Medio} + \beta_6 \text{Zinc} * \text{Método} + \beta_7 \text{Zinc} * \text{Tamaño} + \beta_8 \text{Medio} * \text{Método} + \beta_9 \text{Medio} * \text{Tamaño} + \beta_{10} \text{Método} * \text{Tamaño} + \varepsilon$$

Donde p_i es la proporción de esquejes vivos.

De igual forma que en la regresión logística los coeficientes de las variables independientes en la regresión de Poisson aplicada al número de raíces se interpretan respecto a las plantas madres que no cuentan con aplicación de zinc, los esquejes grandes, sembrados en burucha y con aplicación líquida del regulador de crecimiento, el modelo teórico es:

$$\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 \text{Zinc} + \beta_2 \text{Medio} + \beta_3 \text{Método} + \beta_4 \text{Tamaño} + \beta_5 \text{Zinc} * \text{Medio} + \beta_6 \text{Zinc} * \text{Método} + \beta_7 \text{Zinc} * \text{Tamaño} + \beta_8 \text{Medio} * \text{Método} + \beta_9 \text{Medio} * \text{Tamaño} + \beta_{10} \text{Método} * \text{Tamaño} + \varepsilon$$

Donde y es el número de raíces que produjo cada uno de los esquejes vivos.

Las interacciones evaluadas en el segundo experimento, para las dos variables respuesta, "condición del esqueje" y "número de raíces" fueron: "aplicación de zinc*edad planta madre", "aplicación de zinc*dosis del regulador", "aplicación de zinc*tamaño del esqueje", "edad planta madre*dosis del regulador", "edad planta madre*tamaño del esqueje" y "dosis del regulador*tamaño del esqueje"

Un aspecto que se debe mencionar respecto de las interacciones es que, como se mostró anteriormente, en ambos experimentos se analizaron únicamente interacciones dobles y esto obedece a la sencilla razón de que al tratarse de experimentos exploratorios, que cuentan con un gran número de factores, primero es necesario determinar, cuáles factores favorecen y cuáles no, la producción de pandano, así como combinaciones básicas de estos factores (interacciones dobles) que permitan obtener mejores resultados. Una vez que esto se realiza, es donde toma

mayor sentido el uso de las interacciones triples o superiores, sugiriendo esto, que el presente estudio permite sentar las bases necesarias para llevar a cabo un análisis más amplio de la producción de pandano.

En el segundo experimento nuevamente se utilizó regresión logística para modelar la variable condición del esqueje, los valores obtenidos para la variable respuesta se interpretan respecto a los esquejes muertos, y los "Odds Ratio" para las variables independientes respecto a: las plantas madres que no cuentan con aplicación de zinc, plantas madres nuevas, dosis de 500 mg/L y esquejes grandes, el modelo teórico utilizado es el siguiente:

$$\ln\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 \text{Zinc} + \beta_2 \text{Edad} + \beta_3 \text{Dosis} + \beta_4 \text{Tamaño} + \beta_5 \text{Zinc} * \text{Edad} + \beta_6 \text{Zinc} * \text{Dosis} + \beta_7 \text{Zinc} * \text{Tamaño} + \beta_8 \text{Edad} * \text{Dosis} + \beta_9 \text{Edad} * \text{Tamaño} + \beta_{10} \text{Dosis} * \text{Tamaño} + \varepsilon$$

Donde p_i es la proporción de esquejes vivos.

La variable respuesta número de raíces se analizó con regresión Poisson. Los coeficientes obtenidos se interpretan respecto a las plantas madres que no cuentan con aplicación de zinc, plantas madres nuevas, dosis de 500 mg/L y esquejes grandes, el modelo teórico es:

$$\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 \text{Zinc} + \beta_2 \text{Edad} + \beta_3 \text{Dosis} + \beta_4 \text{Tamaño} + \beta_5 \text{Zinc} * \text{Edad} + \beta_6 \text{Zinc} * \text{Dosis} + \beta_7 \text{Zinc} * \text{Tamaño} + \beta_8 \text{Edad} * \text{Dosis} + \beta_9 \text{Edad} * \text{Tamaño} + \beta_{10} \text{Dosis} * \text{Tamaño} + \varepsilon$$

Donde y es el número de raíces que produjo cada uno de los esquejes vivos.

Todos los análisis se llevaron a cabo con el paquete estadístico STATA 9.0, el nivel de significancia utilizado fue del 0.05; lo que quiere decir que para que una variable sea estadísticamente significativa debe tener una probabilidad asociada inferior a 0.05. En ambos experimentos se utilizó el módulo *logistic* para analizar la variable respuesta

“Condición del esqueje” y el módulo *Poisson* para analizar la variable respuesta “Número de raíces”.

Con el fin de facilitar la comprensión de las variables utilizadas en cada experimento así como la codificación asignada a cada variable, en el cuadro 1 se muestra en las primeras dos columnas las variables utilizadas en el primer experimento; en tanto que las restantes dos columnas corresponden a las variables utilizadas en el segundo experimento.

Cuadro 1. Variables respuesta y variables explicativas utilizadas en el estudio. 2009

Variables I Experimento	Operacionalización	Variables II Experimento	Operacionalización
1. Condición del esqueje	1= Vivo 0= Muerto	1. Condición del esqueje	1= Vivo 0= Muerto
2. Número de raíces	Variable continua: (Mínimo= 0; Máximo= 10)	2. Número de raíces	Variable continua: (Mínimo= 0; Máximo= 4)
3. Tamaño del esqueje	1= Pequeño 0= Grande	3. Edad planta madre	1= Nueva 0= Vieja
4. Aplicación de zinc	1= Con aplicación de zinc 0= Sin aplicación de zinc	4. Aplicación de zinc	1= Con aplicación de zinc 0= Sin aplicación de zinc
5. Medio de cultivo	1= Turba 0= Burucha	5. Dosis 250	1= Dosis 250 0= Dosis 500
6. Método de aplicación hormona de crecimiento	1= Polvo 0= Líquido	6. Dosis 1000	1= Dosis 1000 0= Dosis 500
		7. Tamaño del esqueje	1= Pequeño 0= Grande

IV.Resultados

4.1 Descripción de las variables respuesta del primer experimento

Los cuadros 2 y 3 muestran una descripción de los esquejes cosechados, se puede apreciar que el 66.41% de los esquejes utilizados en este experimento, resultaron vivos (cuadro 2), este porcentaje es mayor del que se venía obteniendo habitualmente que era alrededor del 50.00%².

Cuadro 2. Total de esquejes según condición. 2009

Condición del esqueje	Absolutos	Relativos
Muerto	43	33,59
Vivo	85	66,41
Total	128	100,00

En el cuadro 3 se observan los resultados referentes al número de raíces: el 54.12% de los esquejes vivos no desarrollaron raíz, cerca del 34% tienen una o dos raíces; el 4.71% de los esquejes lograron desarrollar tres y cuatro raíces respectivamente, mientras que solamente un esqueje obtuvo 7 raíces y otro obtuvo 10 raíces.

Cuadro 3. Total de esquejes según número de raíces. 2009

Número de raíces	Absolutos	Relativos
0	46	54,12
1	19	22,35
2	10	11,76
3	4	4,71
4	4	4,71
7	1	1,18
10	1	1,18
Total	85	100

² Datos suministrados por la empresa

4.2 Condición del esqueje

El análisis de la variable condición del esqueje se realizó mediante el modelo de regresión logística, es importante recordar que la interpretación de los coeficientes corresponde a las razones de ventaja de que ocurra el evento de interés, en este caso razones de ventaja de esquejes vivos.

Los resultados del cuadro 4 muestran que el único factor que tuvo influencia sobre la variable respuesta, fue el tamaño del esqueje ($p=0.021$), el valor de la razón de ventaja (6.09) indica que por cada esqueje vivo de tamaño grande, se obtienen 6 esquejes vivos de tamaño pequeño, lo que señala que es mejor utilizar esquejes pequeños para obtener una mejor producción de pandanos vivos para exportar, otro aspecto importante del resultado encontrado es que los esquejes pequeños son los que tardan menos tiempo en ser cortados para utilizarlos en producción de raíces, obteniéndose más cantidad de esquejes para producción de raíz durante el año, al compararse con los esquejes grandes.

Cuadro 4. Razones de ventaja y probabilidades asociadas de cada factor probado sobre la condición del esqueje. 2009

Variables	Razones de ventaja	Prob. Asociada
Esqueje pequeño	6,09	0,021
Con aplicación de zinc	0,38	0,188
Medio de cultivo turba	1,45	0,648
Aplicación AIB en polvo	0,26	0,086
zinc*polvo	3,32	0,145
zinc*Turba	0,88	0,872
Turba*Polvo	1,20	0,826
Esqueje pequeño*Polvo	1,16	0,863
Esqueje pequeño*Turba	0,44	0,324
Constante	2,10	0,243

4.3 Número de raíces

El análisis de esta variable respuesta se realizó, en primera instancia, ajustando un modelo de regresión de Poisson, se utilizó el coeficiente de sobredispersión (cociente del valor Ji cuadrado de Pearson entre los grados de libertad del modelo) para analizar el cumplimiento del supuesto de equidispersión necesario para utilizar esta técnica, se

obtuvo un valor de 2.13 que al ser mayor que 1 (regla de decisión) indica presencia de sobredispersión.

Ante la presencia de sobredispersión, se buscó contrarrestarla utilizando un modelo que tome en cuenta este problema, es por ello que se recurrió al modelo de regresión binomial negativa, cuya principal característica es considerar la sobredispersión presente, haciendo una estimación adecuada de los errores estándar ya que considera la no igualdad de media y varianza.

El cuadro 5 muestra una comparación del modelo de Poisson y el binomial negativo, utilizados para analizar la variable número de raíces. En esta comparación es posible observar que en el modelo de regresión de Poisson la cantidad de factores que resultaron significativos en relación con el número de raíces por esqueje es mayor que los obtenidos con el modelo binomial negativo, esta situación se debe a que si se ignora la sobredispersión presente en el modelo, los errores obtenidos van a estar subestimados por lo cual es posible que más factores resulten significativos.

Cuadro 5. Coeficientes, errores estándar y probabilidades asociadas de cada factor probado sobre el número de raíces. 2009

Variables	Regresión Poisson			Regresión Bin. Negativa		
	Coef.	Error Estándar	Prob. Asociada	Coef.	Error Estándar	Prob. Asociada
Esqueje pequeño	2,93	0,89	0,00	2,90	1,06	0,01
Con aplicación de zinc	1,76	0,68	0,01	1,66	0,90	0,07
Medio de cultivo turba	2,62	0,86	0,00	2,61	1,03	0,01
Aplicación AIB en polvo	-2,13	1,06	0,04	-1,98	1,21	0,10
Esqueje pequeño*Zinc	-1,28	0,62	0,04	-1,16	0,83	0,16
Esqueje pequeño*Turba	-2,28	0,83	0,01	-2,31	0,99	0,02
Esqueje pequeño*Polvo	1,29	0,85	0,13	1,22	1,00	0,22
Zinc*Turba	-0,78	0,51	0,13	-0,72	0,69	0,30
Zinc*Polvo	0,41	0,55	0,46	0,32	0,70	0,65
Turba*Polvo	-0,13	0,55	0,82	-0,15	0,72	0,83
Constante	-2,71	0,91	0,00	-2,68	1,07	0,01

Del modelo binomial negativo es posible concluir que las variables esqueje pequeño y medio de cultivo turba resultaron significativas, así mismo la interacción entre ellas también resultó significativa ($p=0.02$), para este caso se busca comparar la combinación de esquejes pequeños sembrados en turba, contra la combinación de sembrar esquejes grandes en burucha; este resultado se obtiene de multiplicar los tres coeficientes del modelo: $e^{(2.90)} * e^{(2.61)} * e^{(-2.31)} = 24.38$, este valor indica que si se utilizan esquejes pequeños sembrados en turba se esperan 23 veces más raíces que si se utilizan esquejes grandes sembrados en burucha, manteniendo las otras variables constantes .

Otra forma de analizar este efecto es con la utilización de una tabla de doble entrada en la que se reporta el promedio de raíces obtenido en la muestra para cada factor de la interacción, el cuadro 6 contiene esta información, se observa que el promedio de raíces para los esquejes pequeños sembrados en turba es mayor (1.11) que el promedio de raíces que se obtiene con esquejes grandes sembrados en burucha (0.13); lo cual reafirma el hecho de que la combinación de esquejes pequeños y el medio de cultivo turba presentó una influencia positiva sobre el número de raíces.

Cuadro 6. Distribución promedio del número de raíces según tamaño del esqueje y medio de cultivo. 2009

Tamaño del esqueje	Medio de cultivo	
	Burucha	Turba
Grande	0,13	0,96
Pequeño	1,29	1,11

4.4 Descripción de las variables respuesta del segundo experimento

En el cuadro 7 se observa que 64 de los esquejes lograron sobrevivir y 80 murieron. El cuadro 8 muestra el número de raíces de cada esqueje, donde 52 esquejes no produjeron raíces y los restantes 12 produjeron de 1 a 3 raíces.

Cuadro 7. Total de esquejes según condición. 2009

Condición del esqueje	Absolutos	Relativos
Muerto	80	55,56
Vivo	64	44,44
Total	144	100,00

Cuadro 8. Total de esquejes según número de raíces. 2009

Número de raíces	Absolutos	Relativos
0	52	81,25
1	8	12,50
2	3	4,69
3	1	1,56
Total	64	100,00

4.5 Condición del esqueje

Nuevamente la variable condición del esqueje se analizó con regresión logística (Cuadro 9), el efecto simple que resultó ser significativo fue madre nueva ($p=0,032$). El valor de 4.40 implica que, por cada esqueje vivo obtenido de plantas madres viejas, se esperan 4 esquejes vivos que provienen de plantas madres nuevas. La combinación del efecto continuado de zinc y la dosis de 250 mg/L del regulador líquido presentaron influencia ($p=0.020$), el resultado de dicha combinación se obtiene de la siguiente forma: $e^{\ln(1.61)+\ln(0.76)+\ln(0.09)} = 0.11$, este valor indica que utilizar esquejes provenientes de madres con zinc y aplicarles regulador líquido en dosis de 250 mg/L, reduce en un 89% la ventaja de obtener esquejes vivos, respecto al grupo de comparación. Es importante destacar que el efecto continuado de zinc genera una influencia positiva sobre la condición del esqueje, ya que presenta una razón de ventaja de 1.61, sin embargo; al combinarlo con IBA en dosis de 250 mg/L, el efecto se invierte lo que produce una reducción en el efecto obtenido con la aplicación de zinc, sin embargo el efecto de zinc presenta una influencia sobre los esquejes.

Cuadro 9. Razones de ventaja y probabilidades asociadas de cada factor probado sobre la condición del esqueje. 2009

Variables	Razón de ventaja	Prob. Asociada
Con aplicación de zinc	1,61	0,593
Madre nueva	4,40	0,032
Dosis 250	0,76	0,793
Dosis 1000	1,08	0,939
Esqueje pequeño	0,73	0,731
zinc*Madre nueva	1,68	0,586
zinc*Dosis 250	0,09	0,020
zinc*Dosis 1000	0,18	0,073
zinc*Esqueje pequeño	1,25	0,830
Dosis 250*Pequeño	9,34	0,060
Dosis 1000*Pequeño	3,91	0,192
Constante		

4.6 Número de raíces

La variable número de raíces se analizó utilizando regresión Poisson, lo primero que se hizo fue determinar el cumplimiento del supuesto de equidispersión, para ello se utilizó nuevamente el coeficiente de sobredispersión cuyo valor fue de 1.01 indicando el cumplimiento del supuesto de equidispersión, por lo tanto esta técnica es óptima para analizar los datos. Los resultados se muestran en el cuadro 10 y la única variable que resultó significativa fue efecto continuado de zinc ($p=0.043$), en apariencia el efecto continuado del zinc no es adecuado, pues el aplicar zinc a las plantas madres reduce en un 70% la producción promedio de raíces.

Desde el punto de vista estadístico (factor significativo), el efecto negativo del zinc sobre la producción de raíces debe considerarse un hallazgo preliminar por tratarse de un resultado a partir de una muestra pequeña, dada la poca cantidad de esquejes que lograron tener raíces (12 esquejes). Por otra parte, desde el punto de vista agronómico debe verificarse si la relación entre las variables aplicación de zinc y número de raíces realmente existe y cuál es su dirección.

Cuadro 10. Cambios relativos y probabilidades asociadas de cada factor probado sobre el número de raíces. 2009

Variables	Razón de Medias	Prob. Asociada
Con aplicación de zinc	0,30	0,043
Madre nueva	0,38	0,336
Dosis 250	1,39E+07	0,994
Dosis 1000	0,93	1,000
Esqueje pequeño	1,65E+07	0,994
Madre nueva*Dosis 250	5,01	0,215
Madre nueva*Dosis 1000	2,10E+07	0,993
Dosis 250*Esqueje Pequeño	2,97E-08	0,994
Dosis 1000*Esqueje Pequeño	5,74E-08	0,997
Constante		

V. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Condición del esqueje:

Con el desarrollo del primer experimento, para el caso de la variable respuesta condición del esqueje, se encontró que los esquejes pequeños mejoran la producción de esquejes vivos de pandano, lo que se señala que sería adecuado utilizar este tamaño.

En el segundo experimento se encontró que aquellos esquejes provenientes de plantas madres nuevas tienen un mayor grado de sobrevivencia respecto a los que provienen de plantas madres viejas, demostrando que la edad de la planta madre es un factor que marca diferencia en cuanto a la capacidad de los hijos para convertirse en materia prima. Esta situación es coherente con lo que le ocurre a la *Nothofagus procera* (Becker y Dautzenberg, citado por Santilices, 2005), al indicar que los esquejes provenientes de plantas madres nuevas producen mayor cantidad de material de exportación.

La combinación de zinc y dosis de 250 mg/L del regulador de crecimiento produjo resultados desfavorables, ya que la cantidad de esquejes que sobreviven es menor si se compara con plantas madres sin aplicación de zinc y con una dosis de regulador de crecimiento de 500 mg/L, esto indica que la combinación de ambos factores puede hacer incurrir en un gasto innecesario y, además en resultados desfavorables desde el punto de vista de producción.

Número de raíces:

Al analizar la variable respuesta número de raíces en el primer experimento, se determinó que usar esquejes pequeños, también ejerce influencia positiva sobre el número de raíces producidas. Este resultado difiere del encontrado por Álvarez et al

(2007), según estos autores, entre más grande es el tamaño del esqueje se mejora la influencia positiva sobre la masa de raíces de Romero. Sin embargo, el hecho de que los esquejes más pequeños de pandano sean los que producen mayor cantidad de raíces sigue siendo consistente con lo encontrado en la otra variable respuesta. Concluyéndose que los esquejes pequeños mejoran la productividad de los pandanos.

Una de las combinaciones que presentó los resultados más favorables fue los esquejes pequeños sembrados en turba, determinándose que el número de raíces era mayor cuando se utilizaba esta combinación, lo cual reafirma que el tamaño de esqueje pequeño es el más conveniente y si este se siembra en turba los resultados se logran optimizar aún más.

Al analizar la variable número de raíces en el segundo experimento se encontró que el efecto continuado del zinc genera una reducción en el número de raíces, este resultado es contrario al encontrado por Katyal et al (1986), donde se determinó que la deficiencia de zinc puede reducir el crecimiento de las plantas; además de lo señalado por Medina (2000), que dice que para un adecuado crecimiento de brotes es necesario un óptimo nivel de zinc en la planta. El hecho de que los resultados obtenidos en cuanto al número de raíces, contradiga lo señalado por la literatura hace pensar que quizás los resultados obtenidos pudieron estar afectados por descensos atípicos de temperatura que se presentaron en la zona durante el desarrollo del experimento, por lo que podría ser necesario confirmar la influencia real de la aplicación continuada de zinc sobre el número de raíces.

El estudio del supuesto de equidispersión en el análisis de la variable número de raíces resultó relevante, en primera instancia por la diferencia encontrada en los errores estándar del modelo que considera la sobredispersión y aquel que no la considera; además de que las conclusiones derivadas de uno y otro modelo cambiaron drásticamente y esto revela la importancia de llevar a cabo un adecuado análisis de los supuestos en el modelo de conteo de eventos.

5.2 Recomendaciones

Debido al efecto positivo que se encontró con el tamaño de esqueje pequeño, sería recomendable la utilización exclusiva de este tamaño ya que además de mejorar la producción y el número de raíces, es posible aumentar la cantidad de cosechas durante el año, pues el tiempo de desarrollo de éstos en la planta madre es menor en comparación con los otros dos tamaños que ha venido utilizando regularmente la empresa, además de que la elección de este tamaño permite un proceso de cosecha más estandarizado, pues se estaría empleando un único tamaño.

El efecto positivo de la edad de la planta madre permitió determinar a la empresa que a menor edad de la planta madre mayor será la producción de esquejes vivos, sin embargo este resultado se debe complementar con un análisis de rentabilidad con el fin de determinar la factibilidad de contar únicamente con plantaciones jóvenes, ya que el tener plantas madres de menor edad implica un cambio constante en las plantaciones y esto puede significar un desbalance en la relación costo-beneficio.

Las diferencias encontradas en ambos experimentos en cuanto a la cantidad de esquejes vivos y el número de raíces, pudieron deberse a los descensos en las temperaturas que se presentaron durante el desarrollo del segundo experimento, por lo que sería recomendable realizar nuevos estudios para validar los resultados obtenidos y de esa forma tener certeza que las conclusiones a las que se llegó son correctas.

VI. Bibliografía

- Acosta, E. Sánchez, B. & Bañóna, M. (2000). Auxinas. In: Azcón. J. y M. Bieto (Eds). Fundamentos de fisiología vegetal. Primera Edición. McGraw-Hill/Interamericana de España, S. A. U. Edicions Universitat de Barcelona. p. 305-323.
- Agresti. A. (2002). Categorical Data Analysis. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. United States of America.
- Álvarez, J. Lusardo S. Chacón E. (2007). Efecto de diferentes tamaños de esqueje y sustratos en la propagación del romero (*Rosmarinus Officinalis* L.). *Agronomía Colombiana* 25(2), 224-230.
- Arce, R. (2009). El mercado de flores en Estados Unidos. Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica. Dirección de Estudios Económicos.
- Arguello, G. *et al* (2006). Efecto el uso de regulador AIB en la exportabilidad de cañas grandes de *Dracaena Marginata*. Sin publicar.
- Arias, C. Chacón E. (2006). Estudio de mercado feria Iberflora 2006 (Plantas y Flores). Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica. Dirección de Estudios Económicos.
- Avilán, L. LEAL, F. Bautista, D. 1992. Manual de Fruticultura. Principios y manejo de la producción. Segunda Edición. Editorial América C. A. Caracas, Venezuela. p. 1 467.
- Faraway J. J. (2006). Generalized Linear, Mixed Effects and Nonparametric Regression Models. Chapman & Hall/CRC. Taylor & Francis group.
- Gujarati, D. (1997). Econometría. Colombia: McGraw-Hill Interamericana.
- Hartmann, H. & Kester, D. 2001. Propagación de Plantas. Principios y Prácticas. Octava Reimpresión. Editorial Continental. México. p. 760.
- Hernández O. (1998). Temas de Análisis Estadístico Multivariado. Primera Edición. Editorial Universidad de Costa Rica.
- Hosmer, D. & Lemeshow, D. (1999). Applied Survival Analysis. Edit. John Wiley & Sons, Inc. United States of America.
- Hosmer, D. & Lemeshow, D. (2000). Applied Logistic Regression. Second Edition. Edit.

John Wiley. United States of America.

Latsague, M. Sáez, P. Hauenstein, E. (2007). Inducción de enraizamiento en estacas de *Berberidopsis corallina* con ácido indolbutírico. *Bosque (Valdivia)*, 2008, vol.29, no.3, p.227-230.

Katyal, J. Randhawa, N. Micronutrientes. (1986). Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.

Lee, M. (1985). The dispersal of *Pandanus tectorius* by the land crab *Cardisoma carnifex*. *Oikos* 45: 169-193.

Loaiza, J. Valverde, R. (2004). *Análisis cuantitativos de los principales constituyentes químicos de Echinacea purpurea y angustifolia producida en Costa Rica*. *Agronomía Costarricense*. 28(2): 53-59.

Medina, M. Chávez, F. (2000). Efecto del abastecimiento foliar de zinc sobre el balance nutrimental del nogal pecadero.

Omodeo, P. et al. (2007). Efecto del Ácido Indolbutírico y el uso de papel aluminio sobre la calidad de los acodos de *Drecaena Marginata*.

Pandano. Consulta realizada en Internet, 30 marzo 2009 en:
(http://www.uni-graz.at/~katzer/engl/Pand_ama.html)

Peris, V. (2008). Buena Salud para la Planta Ornamental. *Revista Horticultura*.

Rabe, S. Skrondal A. (2008). *Multilevel and Longitudinal Modeling Using Stata*. Second edition. Stata Press books.

Rivero, G. Ramírez, M. (2008). Enraizamiento de estacas de semeruco. *Revista Facultad de Agronomía*. V.25. Nº.3, p 405-420.

Santelices, R. (2005). Efecto del árbol madre sobre la rizogénesis de *Nothofagus alessandrii*. *Bosque (Valdivia)*, Valdivia, v. 26, n. 3, dic. p 133-136.

Santelices, R & Cabello A. (2006). Efecto del ácido indolbutírico, del tipo de la cama de arraigamiento, del substrato, y del árbol madre en la capacidad de arraigamiento de estacas de *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser. *Revista Chilena de Historia natural*. 79: 55-64.

UNIVERSIDAD DE VALDIVIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
VALDIVIA, CHILE

Vives, J. (2002). El diagnóstico de la sobredispersión en modelos de análisis de datos de recuento. Universidad Autónoma de Barcelona. Tesis Doctoral.

VII. Anexos

Anexo 1



Anexo 2



Anexo 3



Anexo 4



Anexo 5

