

**DETECCIÓN DE VARIACIÓN SOMACLONAL EN PLANTAS  
DE PLÁTANO HARTÓN (Musa AAB) MEDIANTE  
TÉCNICAS ESTADÍSTICAS.  
I. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES**

**DETECTION OF SOMACLONAL VARIATION IN PLANTS OF BANANA  
HARTÓN (Musa AAB) BY MEANS OF STATISTICAL TECHNOLOGIES.  
I. APPLICATION OF THE ANALYSIS OF PRINCIPAL COMPONENTS**

**Jairo José Márquez Peña<sup>1</sup>, Luis José Cova Ordaz<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Economía, Núcleo Universitario “Rafael Rangel”, Universidad de Los Andes, estado Trujillo, Venezuela. e-mail: [jajomape@yahoo.es](mailto:jajomape@yahoo.es) <sup>2</sup>Departamento de Biología y Química, Núcleo Universitario “Rafael Rangel”, Universidad de Los Andes, estado Trujillo, Venezuela. e-mail: [covaordaz@yahoo.es](mailto:covaordaz@yahoo.es)

**Resumen**

El propósito de esta investigación consiste en identificar las variables más explicativas del comportamiento de plantas de plátano Hartón (AAB), propagado In vitro” y sembrado en un terreno inapropiado por sus condiciones edáficas y sin fertilización, se observaron las variables edáficas concentración hidrogeniónica (pH), conductividad eléctrica (Ce), sodio (Na) y potasio (K) y las variables morfo-estructurales la altura de la planta (alt), la circunferencia del seudotallo (c), el número de hojas (hoj) e hijos (hij). Se evaluaron cada 15 días desde los 265 días después de la siembra hasta 390 días. Se seleccionó una muestra al azar utilizando el diseño muestral sistemático replicado, analizando los datos mediante la técnica estadística de Análisis de Componentes Principales (ACP). Según los resultados estadísticos logrados, de los 40 componentes analizados 5 son suficientes para explicar el 87% de la variabilidad total. Las variables fundamentales para explicar el comportamiento morfo-estructural de las plantas son la alt, la c, y hoj y de las edáficas, el Na, la Ce y el K. Las plantas 26,31,37,46 y 52 presentaron un comportamiento atípico interesante para un análisis posterior en la segunda parte de esta investigación, para así detectar variante somaclonales.

**Palabras clave:** Aplicaciones estadísticas; variabilidad somaclonal; plátano Hartón (AAB).

**Abstract**

The intention of this investigation is to identify the most explanatory variables of the behavior of plants of banana Hartón (AAB), propagated “In vitro” and planted in an inappropriate area due to its edaphic conditions and without fertilization, the edaphic variables were observed concentration hydrogenionica (pH), electrical conductivity (ec), sodium (Na) and potassium (K) and the morfo-structural variables the height of the plant (hei), the pseudostem circumference (c), the number of leaves (lea) and children (chi). They were evaluated every 15 days from 265 days after the sowing up to 390 days. A sample was selected at random using the sample systematic answered design, analyzing the information by means of the statistical technology of Analysis of Principal components (APC). According to the statistical results, of 40 analyzed components 5 are sufficient to explain 87 % of the total variability. The fundamental variables to explain the morfo-structural behavior of the plants are the hei, the c and lea; and of the edaphic, the Na, the ec and the K. The plants 26,31,37,46 and 52 presented an atypical interesting behavior for a later analysis in the second part of this investigation and thus detect variant somaclonales.

**Keywords:** Statistical applications; somaclonal variation; Horn (AAB) plantain.

**Recibido:** 29/04/2014 - **Aprobado:** 06/09/2014

## Introducción

Los plátanos y los bananos son plantas herbáceas, perennes, pertenecientes a la familia de las monocotiledóneas, poseen un pseudotallo que les permite alcanzar alturas entre 3,5 y 7,5m; su ciclo de cultivo productivo comienza con la aparición de una inflorescencia con forma de racimo larga y pedunculada, ésta al alcanzar una longitud de 0,5 a 1,5m se dobla hacia abajo, está cubierta con brácteas de color rojo intenso acomodadas en espiral formando una “mano” de flores lo que luego se convierte en el fruto comercial. Durante este ciclo de producción las plantas adultas son reemplazadas por hijos laterales que provienen del cormo (tallo verdadero), pertenecen a las Musáceas y dado su origen híbrido se denomina con la letra “A” a las características semejantes a *Musa acuminata* y con “B” a las *M. balbisiana* (Simmonds, 1973); la repetición de letras representa la poliploidía presente en los genomas (INIBAP/IPGRI/CIRAD, 1996).

En general, el cultivo se desarrolla en condiciones tropicales hasta los 2000 msnm, entre los 30° de latitud norte y 30° de latitud sur; mientras que las condiciones óptimas se dan a 0° y 15° norte y sur. Venezuela está situada entre 0° y 12° latitud norte. El ciclo productivo dura de 9 a 10 meses. A 700 msnm el ciclo se alarga en 15 días y en 2 meses a 1100 msnm (Nava, 1997).

Los mejores suelos para la siembra del plátano deben ser de textura: franca, franco-arcillosa, franco-limosa y franco-arcilloso-limosa. En cuanto a las características químicas debe ser rico en potasio (K), fósforo (P) y nitrógeno (N) con una materia orgánica entre 2 y 3% (Nava, 1998), conductividad eléctrica menor de 2 dSm<sup>-1</sup> y un porcentaje de sodio intercambiable menor del 15% (Guerrero-Alves y col. 2004). Con pH muy

ácidos las raíces no se desarrollan bien y con pH básicos se necrosa el borde de las hojas, reduciéndose el área foliar (Belalcázar, 1991).

El cultivo requiere temperaturas entre 21 y 29°C, fuera de este rango el crecimiento de la planta se altera. La lluvia, la humedad ambiental y la evaporación son variables de importancia para el desarrollo y producción de la plantación. El plátano está distribuido en todo el territorio nacional, siendo la región de mayor importancia la cuenca del Lago de Maracaibo (Zulia, Trujillo, Mérida y Táchira), también en los estados Yaracuy, Apure, Monagas y Delta Amacuro (Nava, 1997).

Los cambures y plátanos son estériles por su condición triploide, sus frutos son partenocárpicos y su semilla sexual es estéril, los mecanismos convencionales de mejoramiento no son aplicables a estas especies, a excepción de los cruces entre diploides y tetraploides que si son fértiles (Kricorian y Cronauer, 1984).

La propagación “In vitro” de plantas por meristemas en especial de cambures y plátanos, permite obtener plantas sanas en mayor cantidad y en menor tiempo que los métodos tradicionales. Berg (1977) combinó técnicas de “In vitro” y termoterapia para obtener un 75% de plantas libres de virus. Sandoval (1986) utilizó explantes de 5mm, antioxidante cisteína HCL 50 mg ml<sup>-1</sup>, en medio de Murashige y Skoog (M&S) (1962) obtuvieron de 8 a 12 brotes por explante en 60 días.

Cova y col. (1990), sembraron meristemas “In vitro” de cambur Cavendish AAA Gran Enano, de plátano Hartón AAB y de cambur manzano AAB, según la metodología de Sandoval (1986); la tasa de multiplicación consolidada a los 5 meses fue de 35, 15 y 15 yemas/explantes

respectivamente. Investigaciones más eficientes en la producción de vitroplantas la realizaron Colmenares y Giménez (2007), utilizando medio sólido tradicional y medio líquido en recipientes de inmersión temporal automatizado (RITA), observaron que al quinto ciclo de cultivo obtuvieron  $166,5 \pm 13,5$  yemas/explante, mientras que el método tradicional en medio sólido alcanzó  $36 \pm 5,7$  yemas/explante.

Martínez y col. (2009) estudiaron el comportamiento del plátano Hartón (AAB), sembrado a diferentes densidades en el estado Yaracuy, observaron un promedio en la altura de las plantas de 3,3m y 0,54m en la circunferencia del pseudotallo; igualmente Añez y col. (1999) estudiaron la producción de plátano en las primeras cuatro generaciones a diferentes densidades de siembra; para 1666 plantas por hectárea obtuvieron un promedio de 3,5m de altura, 0,49m de circunferencia del pseudotallo, el ciclo de producción de 15,5 meses y una emisión promedio de 38 hojas. Belalcázar (1995) reporta valores agronómicos de plátano Hartón a diferentes densidades de siembra entre 1666 a 5000 plantas por hectárea, para una altura de 3,5m a 4,3m y circunferencia del pseudotallo de 0,49 a 0,51m, duración del ciclo de 15,5 a 20,0 meses; corroborando que a mayor densidad de siembra, aumenta la producción, así como también el ciclo vital. Espinosa y col. (1996) realizaron ensayos en Colombia en suelos volcánicos de diferentes fertilidades y en áreas tradicionalmente plataneras, observaron que debido a la alta fertilidad del suelo no se encontraron respuestas a la aplicación de nutrientes N, P y K, en estas condiciones el suelo puede nutrir satisfactoriamente el cultivo por varios años.

El Análisis de Componentes Principales (ACP) (Lebart y col. 1985) permite la extracción de variables de un gran conjunto,

para construir otro conjunto de menor dimensión con el mayor poder explicativo. Mediante este método se construye el primer componente principal con una combinación lineal de las variables, procurando obtener la máxima variación posible de las variables originales; luego se localiza el segundo componente principal que representa la segunda variación restante y que no esté correlacionado con el componente anterior y así sucesivamente hasta tener tantos componentes como variables originales.

Por lo general, los primeros componentes representan la mayor variación total, por lo que éstos pueden sustituir a las variables originales, reduciendo el número de variables de la base de datos y de esta manera se evita redundancia en la información. Con este método se determinan cuantos componentes representan de la mejor manera al conjunto total de variables y lo que significa cada componente. Esta técnica también permite determinar la contribución relativa de cada variable a la formación de cada componente.

El objetivo de este trabajo consistió en identificar, utilizando la técnica estadística de Análisis de Componentes Principales (ACP) las variables que mejor explican el comportamiento de un clon de plátano multiplicado "In vitro" y sembrado en un terreno inapropiado por sus condiciones edáficas y sin fertilización.

### **Materiales y métodos**

Para el ensayo se utilizaron plantas de plátano Hartón (AAB) producidas por cultivo "In vitro" de meristemos en PROBIOTEC (Productos biotecnológicos), empresa mixta PALMAVEN (Filial de Petróleos de Venezuela) y FUSAGRI (Fundación Servicio al Agricultor) ubicada en la ciudad de Maracay, estado Aragua, Venezuela. Las plántulas fueron sembradas en bolsas

de polietileno de 3 kg con una mezcla de tierra-arena 1:1 (v/v) y posteriormente trasladadas desde el estado Aragua hasta la Estación Experimental y de Producción Agrícola “Rafael Rangel”, perteneciente a la Universidad de los Andes en el estado Trujillo (09° 35' 00" y 09° 37' 19" LN; 70° 27' 00" y 70° 31' 39" LO) donde se mantuvo por 30 días en umbráculo y luego fueron trasladadas en el mes de septiembre de 2001 al campo, con una altura de planta aproximada de 0,30m. La zona de trasplante presenta un relieve llano, microrelieve liso con una pendiente oeste-este aproximadamente de 1%; con una altitud de 220 msnm. El suelo tiene una profundidad efectiva de 0,50m y un drenaje restringido con permeabilidad moderada a lenta (Matheus, 2007). La precipitación está comprendida entre 800 y 1200 mm año<sup>-1</sup>. El promedio de precipitación no es menor de 58,6mm, en el mes más seco (Julio) y no mayor de 185,5mm, en el más húmedo (Noviembre). Según Maldonado (1998), el valor medio de temperatura mínima anual es de 22°C, con un máximo de 33,3°C y una media de 27,7°C (régimen de temperatura iso-hipertérmico).

El suelo fue preparado con varios pases de rastra y se le abrieron hoyos de 0,30m de profundidad para la siembra a 2m entre plantas y 3m entre surcos, para un tamaño de población de N=2326 plantas, con una densidad de plantación de 1666 plantas ha<sup>-1</sup>.

La población de clones de plantas de plátano fue distribuida en un arreglo rectangular de 43 filas y 58 columnas con 2m entre plantas y 3m entre surcos, lo que las hizo homogéneas en cuanto a la distribución espacial y tipo de planta, esto permitió escoger el diseño de muestreo apropiado para obtener una muestra representativa. De acuerdo a estas características anteriores indica que el diseño muestral apropiado es el

sistemático replicado, dado que este permite distribuir la muestra en toda la parcela sin que quede alguna zona sin ser muestreada, evitando el error sistemático.

Debido a que no se disponía de ninguna información al respecto, se procedió a tomar una muestra piloto del 10% de la población (233 plantas) midiendo solamente la altura de la planta la cual es considerada como una de las variables más importantes en su desarrollo, con estos datos, usando un muestreo aleatorio simple con un error máximo permitido del 10% se calculó un tamaño de muestra de n=86 plantas; para seleccionar al azar las 86 plantas de la muestra se realizó el muestreo sistemático replicado que consiste en dividir  $k=N/n=27$ , luego se seleccionaron 10 muestras sistemáticas repetidas de tamaño 8, a la última se le agregó 6 plantas más para obtener el tamaño de muestra previamente calculado. Primero, multiplicamos  $10 \times k=270$ , a continuación seleccionamos 10 plantas al azar entre la planta 1 y la 270; finalmente la constante 270 se adiciona a cada uno de los puntos de inicio seleccionados aleatoriamente para obtener 10 plantas entre 270 y 540 y así sucesivamente hasta llegar a 86 plantas.

Dada la pérdida de plantas por causas naturales las observaciones faltantes fueron sustituidas por el método de imputación múltiple, Roderick y col (2002). Después de definidas las 86 plantas de la muestra seleccionadas al azar se procedió a realizar las mediciones morfo-estructurales y edáficas tomando cuatro muestras de suelo (0-0,20m) por planta. La extracción se realizó con barreno manual a una distancia radial del seudotallo de 0,30m, haciendo cuatro perforaciones acorde a los puntos cardinales. Las variables edáficas analizadas fueron: el pH se determinó en agua (relación 1:2) mediante un potenciómetro, la concentración de Na por el método de extracción a la pasta,

el K por el método del fotocolorímetro de Bray y la Ce con el uso de un conductímetro. Las otras variables magnesio (Mg 2,43 cmol kg<sup>-1</sup>, valor medio), nitrógeno (N 0,16%, valor bajo), fósforo (P 20 mg kg<sup>-1</sup>, valor bajo), la capacidad de intercambio catiónico (CIC 10,12 Me 100g<sup>-1</sup>, valor bajo), materia orgánica (MO 1,6%, valor bajo), y carbono orgánico (CO 1,17, valor bajo) no fueron consideradas para el estudio por su poca presencia en el suelo, como lo señala Palomino (2009), en su clasificación cualitativa.

La alt de la planta se midió con cinta metálica flexible de 5m de longitud, desde el nivel del suelo hasta la bifurcación de las hojas, la circunferencia del seudotallo c a un metro desde el suelo con una cinta plástica flexible de 1m de longitud. El número de hoj y de hij se contabilizaron de forma visual.

Cada una de las variables morfo-estructurales se midieron en nueve momentos diferentes en el tiempo, considerando a cada medida como una variable con el propósito de hacer un análisis más detallado, que permita determinar dentro de cada variable cuales son los momentos dentro de las 9 mediciones que más contribuyeron relativamente a la formación de cada componente, por lo que se tiene en total  $9 \times 4 = 36$  variables morfo-estructurales, contando los días transcurridos desde los 270 días después de sembrados hasta el final de las mediciones, 390 días después de la siembra.

En total son 40 variables, 36 morfo-estructurales y 4 edáficas, todas ellas cuantitativas, observadas en una muestra de 86 plantas de plátanos (Tabla 1).

Los datos recolectados para las distintas variables se analizaron con la técnica de los componentes principales (ACP) (Lebart y col. 1985). Usando el programa estadístico: IBM SPSS® Statistics 17.0. (2012).

Es oportuno señalar que al campo sembrado no se le aplicó ninguna práctica agronómica; ya que el objetivo era el de descubrir el comportamiento de las plantas en circunstancias inhóspitas, sin alterar las condiciones del suelo y mantenerlas durante todo el período de observación, es decir la resistencia de la planta a condiciones adversas. A partir de este comportamiento, en una segunda parte, se intentará detectar las plantas con variaciones somoclonales.

### Resultados y discusión

De los 40 componentes principales iniciales, uno por cada variable, se seleccionaron en este caso los 5 primeros de ellos por el método de extracción, tomando como criterio en la columna de la varianza total, aquellos componentes con varianzas mayores que 1 (Tabla 2). La columna del total expresa la cantidad de varianza (valores propios) de las variables originales, calculada para cada componente; con la varianza de cada componente entre el número total de ellos, se obtiene el porcentaje de varianza con que cada componente contribuye en la varianza total explicada.

En la columna de porcentajes de varianza acumulada de la Tabla 2, se suman de manera acumulada los porcentajes de varianza. Estos 5 componentes explican el 86,972% de la varianza total de las 40 variables originales, siendo el primer componente el que más contribuye a la variabilidad total con un 68,723%, la complejidad de estos 40 componentes se reduce a cinco componentes, con un 13% de pérdida de información. El centro de gravedad (la media) de la nube de puntos, inicialmente formada por n=86 plantas por p=40 variables originales, es decir un total de 3440 puntos, se reduce a  $86 \times 5 + 40 \times 5 = 630$  puntos, por lo tanto se ajusta la nube de los n puntos a un sub-espacio en  $R^p$  usando

para ello la distancia euclidiana; el análisis de esta nube de puntos permite establecer las relaciones entre individuos (plantas de plátanos) y las variables morfo-estructurales y edáficas; ahora tomando como origen el centro de gravedad de la nube de 630 puntos, se construye un nuevo sistema de coordenadas rotando los ejes con el propósito de hacer máxima la varianza (Tabla 3).

Aunque la rotación produce grandes cambios en los totales individuales de cada componente, mantiene el porcentaje acumulado de la varianza explicada por los componentes extraídos; también permite que la variación esté distribuida de manera más uniforme en los componentes principales, originando así una matriz de componentes rotados que la hace más fácil para su interpretación. La matriz de componentes rotados nos ayuda a determinar qué representan estos componentes; es decir, cuáles de las 40 variables contribuyen más a la construcción de los 5 primeros componentes. De acuerdo a los resultados en las Tablas 2 y 3 el primer componente está altamente correlacionado con las variables  $c$  y la  $alt$  desde la medida 1 hasta la medida 9, con un aporte de este componente del 68,723% a la varianza total explicada. El segundo componente está más correlacionado con las variables  $hoj$ , desde la lectura 1 hasta la 9, con una contribución del 6,51% de este componente a la varianza total.

Para el tercer componente, la más alta correlación se presenta con  $hij$  desde la lectura 1 hasta la 9, con un 5,62 % de aporte a la varianza total. El cuarto componente representa de mejor manera a las variables edáficas,  $Na$  y  $K$ , con un 3,34% de contribución a este componente de la variabilidad total y el quinto componente está altamente correlacionado con la variable  $Ce$  en sentido inverso, aportando un 2,76%. Es importante destacar que existe una débil

correlación entre los componentes, evitando de esta manera solapamiento de la varianza explicada por las variables, e impidiendo cruce y redundancia de la información.

Estos resultados permiten pasar a otro nivel de análisis para determinar la contribución relativa de aquellas variables que están más altamente correlacionadas con cada componente (Tabla 3). Para el primer componente, de las variables circunferencia y altura para las nueve medidas, es decir 18 variables en total, las de mayor contribución relativa para las circunferencia son las medidas  $c_2$ ,  $c_4$ ,  $c_5$ ,  $c_6$  y  $c_7$  con correlaciones 0,812, 0,823, 0,809, 0,807 y 0,813 respectivamente y las alturas  $alt_1$ ,  $alt_2$ ,  $alt_3$ ,  $alt_4$ ,  $alt_5$  y  $alt_6$ , con correlaciones 0,842, 0,857, 0,844, 0,841, 0,827 y 0,814 respectivamente, es decir que para descubrir la formación morfo-estructural de la planta con el propósito de seleccionarlas y propagarlas posteriormente, se debe observar aproximadamente entre los 265 días y los 350 días (Tabla 1).

El segundo componente, de las variables número de hojas en las nueve medidas, las de mayor contribución relativa están el número de hojas entre la medición  $hoj_5$  y la  $hoj_9$  con correlaciones 0,834, 0,794, 0,846, 0,868 y 0,863 respectivamente, por ser las que presentan mayor correlación con el componente; esto indica que la formación del número de hojas definitiva se dan aproximadamente entre los 323 a los 390 días de la siembra.

En el tercer componente, de las variables que más explicaron la construcción de éste, fue el número de hijos, y de estas variables es la medición  $hij_6$  (337 días después de la siembra) que más contribuyó relativamente a la formación del componente, con una correlación de 0,810.

En el cuarto componente tenemos el K y Na las de mayor contribución relativa, con correlaciones de 0,762 y 0,639 respectivamente. El quinto componente, la única variable que se destaca es la Ce por tener la más alta correlación con este componente -0,92; es decir, a mayor conductividad eléctrica mayor salinidad del agua, implica efecto adverso en el crecimiento de las plantas.

Antes de describir las relaciones entre los puntos variables y puntos individuos a través de las figuras 1 y 2, es necesario multiplicar a las coordenadas de los individuos por el coeficiente  $c = \sqrt{\frac{n}{p}}$ ; donde  $n$  número de datos y  $p$  el número de variables, en este caso  $n = 86$  y  $p = 40$ , para asegurar una posición en el plano compatibles con la repartición de los puntos-variables y permitir así una representación simultánea de las dos nubes. La construcción de las figuras 1 y 2 se hicieron con el programa estadístico SPAD® v5.6.0en. (2013).

Al superponer la figura 2 de las variables sobre la figura 1 de los individuos, se observa las relaciones que se establecen entre ellas. Es oportuno aclarar que en la relación entre las variables edáficas y los individuos se tomará en cuenta solamente al Na; puesto que es la variables que más se aleja del centro de gravedad de la nube de puntos, produciendo más influencia en la explicación de la variabilidad total de los datos que la explicada por las variables pH, Ce y K, aunque este último elemento es de suma importancia para la conformación de la morfo-estructura de la planta está en muy bajas concentraciones K: 3 a 61  $\text{cmol kg}^{-1}$ , siendo el óptimo de 100 a 240  $\text{cmol kg}^{-1}$ , Belalcázar (1991).

Para relacionar cada planta con la variable Na, se procedió a realizar una clasificación en cuatro intervalos reales de

este elemento, calculando tres cuartiles, el primer intervalo I, nivel muy bajo, comprende desde 0,185 hasta 0,465  $\text{cmol kg}^{-1}$ , el II nivel bajo, desde 0,465 hasta 0,608  $\text{cmol kg}^{-1}$ , el III nivel alto, desde 0,608  $\text{cmol kg}^{-1}$  hasta 0,810  $\text{cmol kg}^{-1}$ , y el IV nivel muy alto, desde 0,810 hasta 2,015  $\text{cmol kg}^{-1}$ , dentro de estos intervalos están todos los valores observados del Na. A pesar de la clasificación anterior, los niveles de sodio se consideran muy altos para este cultivo (Guerrero-Alves y col. 2004). Igual procedimiento se hizo para la circunferencia, altura delseudotallo y al número de hojas (Tabla 4).

A lo largo del eje horizontal factorial 1 de la figura 1, se conforman dos grupos de individuos en posiciones contrapuestas y extremas en cuanto a su comportamiento morfo-estructural, guardando relación con los niveles de concentración de Na, ver figura 2. Hacia el extremo del lado izquierdo se formó un primer grupo de plantas con las alturas más bajas (0,2495-1,1787m) y de circunferencias más estrechas (0,0995-0,251m) muy por debajo de la media de la altura 1,6275m y de la circunferencia 0,3145m de las 86 plantas observadas, estas plantas están identificadas con los números 1,2,3,4,5,8,9,10,11,16,19,21,25,26,46,80,81,83,84,85,86, se clasifican como plantas muy malas en cuanto a su desarrollo morfo-estructural, en la figura 1 están señaladas por un elipse; de este grupo las plantas 1,2,3,4,8,9,10,16,19,81,83,84, son las que están relacionadas con el nivel IV, el más alto de la concentración de Na (0,810-2,015  $\text{cmol kg}^{-1}$ ) ver figuras 1 y 2, siendo la planta 84 la de más baja estatura 0,25m de las 86 plantas observadas, manteniéndose con esta altura durante todo el ensayo, en la figura 1 se indica con un elipse y una barra superior.

Las plantas 11,21,85,86 están relacionadas con el nivel alto (III) de la concentración de sodio (0,608-0,810  $\text{cmol}$

kg<sup>-1</sup>). Por otro lado, existen dentro de este grupo tres plantas 5,25,80 que igualmente son de baja estatura y estrecha circunferencia; pero están relacionadas con el nivel II de la concentración de sodio (0,465-0,608 cmol kg<sup>-1</sup>) y por último dos plantas 26,46 identificadas en la figura 1 con un elipse y una barra superior, que a pesar de estar relacionadas con los niveles más bajo de concentración del sodio, nivel I (0,185-0,465 cmol kg<sup>-1</sup>), su desarrollo morfo-estructural es malo.

Hacia el lado derecho del eje 1 se conformó un segundo grupo de plantas 24,30,34,35,36,37,38,40,42,43,45,47,49,50,54,56,59,64,67,71,78,79 con las mayores circunferencias (0,369-0,4685m) y alturas (2,0763-2,6985m); las plantas de este grupo son consideradas muy buenas, dentro del contexto de la población estudiada; en la figura 1 están identificadas con un rectángulo. De este segundo grupo de plantas están identificados los individuos 37,38,40,42,43,49,54,59,67,78,79 relacionadas con el nivel I de más baja concentración de sodio (0,185-0,465 cmol kg<sup>-1</sup>). Igualmente dentro de este grupo hay plantas relacionadas con la concentración de sodio del nivel II (0,465-0,608 cmol kg<sup>-1</sup>) y están identificadas como 30,34,36,45,50,64 siendo la planta 36 con una circunferencia gruesa (0,414m) y la más alta de las 86 plantas observadas, ella está identificada en la figura 1 con un rectángulo y una barra superior; finalmente está el grupo de plantas 24,35,47,56,71 que están relacionadas con el nivel III de concentración de sodio (0,608-0,810 cmol kg<sup>-1</sup>).

Es oportuno acotar que todas las plantas con las mayores alturas y circunferencias se desarrollaron entre el I y III nivel de concentración de sodio y ninguna dentro del nivel IV de sodio. Por otra parte, están las plantas 33,65,73,74,77,7,13,32,

48,63,66,68,82,17,22,27,69,70,6,12,20,23,53 que conforman un tercer grupo, con circunferencia entre (0,251-0,3145m) y alturas desde (1,1787-1,6275m), estas plantas presentan circunferencias y alturas un poco más elevadas que las del primer grupo; pero siguen siendo de desarrollo morfo-estructural deficiente, las mismas pueden catalogarse como plantas malas ya que tienen una circunferencia y altura por debajo del promedio general 0,3145m y 1,6275m respectivamente, en la figura 1 están identificadas con un triángulo. De estas plantas de desarrollo malo están las identificadas como 33,65,73,74,77 relacionadas con la más baja concentración de sodio (0,185-0,465 cmol kg<sup>-1</sup>); estas son plantas que a pesar de desarrollarse en el nivel más bajo de sodio no se desarrollaron bien, indicando que las causas de su deficiente desarrollo se deben a otras variables distintas al sodio. Ahora, las plantas 7,13,32,48,63,66,68,82 son del grupo relacionado con el nivel II de sodio (0,465-0,608 cmol kg<sup>-1</sup>), las plantas 17,22,27,69,70 son las que están relacionadas con el nivel III del sodio (0,608-0,810 cmol kg<sup>-1</sup>), las plantas 6,12,20,23,53 son plantas de este tercer grupo que están relacionada con el IV nivel del sodio.

Por último tenemos al cuarto grupo que está ubicado en la zona media de la figura 1, hacia la derecha cerca al segundo grupo, con promedio en circunferencia entre 0,3145 y 0,369m y alturas que oscilan entre 1,6275 y 2,0763m, ambas medidas están por encima del promedio general c:0,3145m y alt:1,6275m de las 86 plantas observadas, en la figura 1 están señaladas por un rombo.

Este cuarto grupo se clasifica como plantas de desarrollo morfo-estructural bueno; las conforman las plantas 41,44,51,15,28,55,57,60,61,75,76,14,18,58,62,72,29,31,39,52. Estas plantas crecieron en los distintos niveles de concentración de sodio (I-II-

III-IV), ver Tabla 4. Entre estas plantas llama la atención las identificadas con los números 31 y 52 que a pesar de desarrollarse en altas concentraciones de sodio nivel IV, alcanzaron en promedio elevadas estaturas 2,017m y 1,939m respectivamente y grueso tallo de 0,322m y 0,331m. En la figura 1 se identifican con un rombo y una barra superior. Dentro de la población estudiada se consideran a este grupo de buen desarrollo morfo-estructural.

El eje factorial 2 está altamente correlacionado con las hojas, siendo a la vez esta variable la que más contribuye a su construcción. Observando la figura 1 se nota que las plantas con menos hojas forman a lo largo del eje 2 un grupo más disperso, en relación con el grupo de plantas con más hojas que se encuentran más concentradas, además el grupo con menos hojas guarda una alta correlación con las plantas de menor altura y circunferencia, estas plantas son las 2,3,4,5,6,8,9,14,16,19,20,26,29,37,69,77,80,81,83,84,86; mientras que las plantas con mayor número de hojas, por su proximidad, se encuentran correlacionadas con las plantas con mayor altura y circunferencia, estas plantas son las 27,28,34,35,36,42,43,44,45,47,49,50,51,54,55,56,58,60,62,64,67,78,79.

Es de hacer notar el comportamiento de las plantas 31 y 52, que no están en los grupos anteriores; sin embargo presentan una elevada altura y ancho de circunferencia, con numerosas hojas, a pesar de haberse desarrollado en un suelo con la más alta concentración de sodio. Otra planta que reflejó un comportamiento fuera de lo común es la número 37 que se desarrolló en la más baja concentración de sodio del nivel I; con una estatura de 2,171m dentro del grupo más alto y con una gruesa circunferencia de 0,384m, sin embargo, presentó un número bajo de hojas.

En la figura 2 de las variables, tenemos por un lado a las edáficas Ce y K cerca del centro de gravedad de la nube de puntos, un poco más alejada está el pH, indicando poca influencia en el comportamiento morfo-estructural de las plantas y por otro lado tenemos al Na más retirada del centro de gravedad en relación con las otras variables edáficas, siendo ésta la de mayor influencia en el desarrollo de la planta; es decir, dentro de esta población estudiada, existe una relación inversa entre los niveles de sodio y las variables morfo-estructurales; a mayor nivel en la concentración de sodio más pequeña es la planta y a menor concentración más alta y robusta es la planta. A excepción de las plantas número 31 y 52.

En concordancia con varios autores Belalcazar (1995), Delgado y col. (2002) y Martínez y col. (2009), el vigor en los plátanos es una expresión de la altura y la circunferencia del pseudotallo, por ser estos reportes provenientes del cultivo "In vitro" de la misma empresa PROBIOTEC, se compararon con los resultados arrojados en este estudio.

Delgado y col. (2002) estudiaron bajo condiciones agronómicas óptimas, el comportamiento de plátano Hartón proveniente del cultivo "In vitro" de la misma empresa PROBIOTEC en los llanos occidentales de Venezuela. Aquí se muestran las comparaciones de las medias de algunas mediciones vinculadas en los dos ensayos hasta los 390 días: altura de la planta 1,51m vs 2,73m, circunferencia del pseudotallo 0,34m vs 0,46m, número de hojas a la floración 8,36 vs 14,58.

La comparación con los valores obtenidos por Delgado y col. (2002), no están ligados a la floración exclusivamente, debido a la extrema variabilidad del comportamiento de las plantas en este ensayo, cuyas

plantas no estaban todas en floración y algunas ya habían sido cosechadas. Estos valores muestran la gran diferencia que se observan comparados con los resultados del comportamiento del plátano bajo condiciones agronómicas comerciales estándar, sin embargo el propósito de la investigación de largo alcance es la búsqueda de plantas resistentes a condiciones de pH, Ce, Na y K adversas para ese cultivo.

A pesar de que el plátano es tolerante a la alcalinización y a pH ácidos y básicos, en el caso de esta investigación se obtuvieron plantas con un comportamiento de sobrevivencia favorable en condiciones extremas de basicidad y alcalinidad, sin embargo al fijar el Na o la concentración de K como factor independiente se presupone la influencia marginal del resto de las variables del suelo, cosa que no es cierta. La interacción entre cada factor y el resto de las variables edáficas sería importante considerarla.

Es necesario acotar la presencia de individuos que se alejan del comportamiento general de los datos, llamados datos outlier, estas plantas son la número 31 y 52 que a pesar de crecer en un suelo con las más altas concentración de sodio mayor a 0,810 cmol kg<sup>-1</sup>, resultaron con una elevada altura y ancha circunferencia del seudotallo; también hay otras plantas que se desarrollaron en un medio de bajo niveles de concentración de sodio y resultaron con bajo tamaño y angosta circunferencia, estas plantas son la número 26 y 46. También llama la atención la planta número 37 que presentó buena altura y grueso seudotallo, exhibiendo pocas hojas.

A partir de los resultados anteriores y observando el comportamiento atípico de las plantas 26,31,37,46 y 52 con respecto al resto de la población estudiada, se realizarán otros análisis estadísticos más precisos para

detectar variantes somaclonales, los cuales estarán publicados en la segunda parte de esta investigación.

#### Agradecimientos:

Los autores agradecen al CDCHT de la Universidad de los Andes por el financiamiento de esta investigación a través del proyecto (NURR-C-337-03-01 C), a los obreros y empleados de la Estación Experimental y de Producción Agrícola "Rafael Rangel", perteneciente a la Universidad de los Andes en el estado Trujillo, NURR-ULA por su valiosa colaboración en este proyecto y al Profesor Enrique Ávila por su asistencia en la traducción.

#### Referencias:

- Añez B y Tavira E. Estudio de las densidades de población en las primeras cuatro generaciones del plátano (*Musa* grupo AAB cv. Hartón). *Fac. Agron. (LUZ)*. 1999, 16 (1): 337-355
- Belalcázar S. El cultivo del plátano en el trópico. Bogotá, Colombia: Belalcázar S. C.A. CIID.INIBAP. 1991, 367 p
- Belalcázar S. Cultivo de plátano en altas densidades. Una nueva opción. *Informaciones Agronómicas*. 1995, 20 (1): 1-4
- Belalcázar S. El cultivo del plátano en el trópico. Manual de asistencia técnica No. 50, INIBAP.CIID.ICA. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. 1991, 145 p.
- Berg L y Bustamante M. Heat Treatment and meristem cultura for the production of virus-free bananas. *Phytopathology*. 1974, 64:320-322
- Colmenares M y Giménez C. Inducción de yemas múltiples en *Musa* (AAB) plátano "Hartón Gigante" con inmersión temporal. *Ciencia*. 2007, 15 (3): 331-340

- Cova L, Tovar R y Pulgar J. Propagación masiva de cambures y plátanos. III Simposio de Biotecnología, 1990. Maracaibo, Venezuela. p 60-72
- Decisia. Programmes un statisticien pour l'analyse de données (SPAD® v5.6.0). Paris, Francia. 2003. Disponible en: [www.decisia.fr](http://www.decisia.fr)
- Delgado E, González O y Moreno N. Comportamiento productivo de vitroplantas del clón plátano Hartón (Musa AAB) en los llanos occidentales en Venezuela. Memorias del XV Reunión de ACORBAT, 2002. Augura, Colombia. p. 375-379
- Espinosa J, Belalcazar S, Chacón A y Suárez D. Fertilización del plátano en densidades altas. Armenia, Colombia: INPOFOS, CORPOICA. 1996, p 296
- Guerrero-Alves J, Pla-Sentís I y Camacho R. Génesis de un suelo sódico alcalino en Chaguaramas Venezuela. *Agronomía Trop.* 2004, 54 (4): 433-459
- IBM. Statistical programs for the social sciences. IBM SPSS® Statistics 17.0. USA. 2012. Disponible en: [WWW.downspeedtest.com](http://WWW.downspeedtest.com)
- INIBAP/IPGRI/CIRAD. Descriptores para el banano (Musa spp.). Instituto internacional de recursos fitogenéticos, Roma Italia, Red Internacional para el mejoramiento del banano y el plátano, Montpellier, France y Center de Coopération internationale en Recherche Agronomique pour le développement. Montpellier France. 1996, 55 p.
- Kricorian A, Cronauer S. Rapid multiplication of bananas and plantains by in vitro shoot- tip culture. *Hort Science.* 1984, 19(2): 234-235
- Lebart L, Morineau A y Fénelon J. Tratamiento estadístico de datos. **Primera** Edición. Barcelona, España: Boixareu. 1985, p 285-294
- Maldonado R. Diseño preliminar de una obra de captación y un canal de derivación en el río Monaicoito para la finca "El Reto" de la ULA - NURR, en la localidad de Monay, parroquia la Paz, municipio Pampán, estado Trujillo. Tesis de pregrado en Ingeniería Agrícola. Trujillo: Núcleo Universitario Rafael Rangel Universidad de los Andes. Trujillo, Venezuela. 1998, p 250
- Martínez G, Blanco G, Hernández J, Manzanilla E, Pérez A, Pargas R y Marín C. Comportamiento del plátano (Musa AAB Subgrupo plátano, cv. Hartón Gigante) sembrado a diferentes densidades de siembra en el Estado Yaracuy. *Venezuela. UDO Agrícola.* 2009, 9 (1): 259-267
- Matheus J, Caracas J, Montilla F y Fernández O. Eficiencia agronómica relativa de tres abonos orgánicos (vermicompost, compost, y gallinaza) en plantas de maíz (*Zea mays* L). *Agricultura Andina.* 2007, 13 (1): 19-26
- Murashige T y Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue culture. *Physiol. Plant.* 1962, 15 (1): 473-497
- Nava C. Esbozo histórico del cultivo del plátano en Venezuela. *Fac. Agron. LUZ.* 1998, 15 (1): 22-2

Nava C. El plátano, su cultivo en Venezuela.  
Maracaibo, Venezuela: Astrodata  
S.A. 1997, 135 p.

Roderick J, Little A. y Rubin D. Statistical  
Analysis with Missing Data. Segunda  
Edición. New Jersey, USA: Wiley-  
Interscience. 2002, p. 209-214

Sandoval F. Micropropagación de musáceas.  
Asbana. 1986, 9 (24): 21-23

Simmonds N. Los plátanos. Primera Edición.  
Barcelona, España: Blume. 1973,  
539 p.

Palomino L. Influencia de la variabilidad  
espacial de algunas propiedades del  
suelo sobre el rendimiento del cultivo  
del plátano (*Musa paradisiaca*) en la  
finca "El Reto" UPA-ULA. Tesis  
de pregrado en Ingeniería Agrícola.  
Trujillo: Núcleo Universitario Rafael  
Rangel Universidad de los Andes.  
Trujillo, Venezuela. 2002, 165 p.

Tabla 1 Identificación de las Variables observadas en plantas de plátano Hartón

<b>Nombre de la variable</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Días transcurridos, desde la siembra hasta el día de la lectura.</b>
pH	pH	270
Conductividad Eléctrica	Ce	270
Sodio	Na	270
Potasio	K	270
Número de hojas (1)	hoj1	265
Número de hojas (2)	hoj2	280
Número de hojas (3)	hoj3	294
Número de hojas (4)	hoj4	309
Número de hojas (5)	hoj5	323
Número de hojas (6)	hoj6	337
Número de hojas (7)	hoj7	351
Número de hojas (8)	hoj8	378
Número de hojas (9)	hoj9	390
Número de hijos (1)	hij1	265
Número de hijos (2)	hij2	280
Número de hijos (3)	hij3	294
Número de hijos (4)	hij4	309
Número de hijos (5)	hij5	323
Número de hijos (6)	hij6	337
Número de hijos (7)	hij7	351
Número de hijos (8)	hij8	378
Número de hijos (9)	hij9	390
Circunf. seudotallo (1)	c1	265
Circunf. seudotallo (2)	c2	280
Circunf. seudotallo (3)	c3	294
Circunf. seudotallo (4)	c4	309
Circunf. seudotallo (5)	c5	323
Circunf. seudotallo (6)	c6	337
Circunf. seudotallo (7)	c7	351
Circunf. seudotallo (8)	c8	378
Circunf. seudotallo (9)	c9	390
Altura seudotallo (1)	alt1	265
Altura seudotallo (2)	alt2	280
Altura seudotallo (3)	alt3	294
Altura seudotallo (4)	alt4	309
Altura seudotallo (5)	alt5	323

Altura seudotallo (6)	alt6	337
Altura seudotallo (7)	alt7	351
Altura seudotallo (8)	alt8	378
Altura seudotallo (9)	alt9	390

Tabla 2 Total de varianza explicada por los cinco primeros componentes

Componentes	Valores Propios (Extracción)			Rotación Sumas de Cuadrados		
	Total	% de Varianza	% de Varianza Acumulada	Total	% de Varianza	% de Varianza Acumulada
1	27,489	68,723	68,723	14,816	37,040	37,040
2	2,611	6,527	75,250	9,762	24,406	61,445
3	2,248	5,619	80,870	7,463	18,658	80,104
4	1,336	3,339	84,209	1,531	3,827	83,930
5	1,105	2,763	86,972	1,217	3,042	86,972

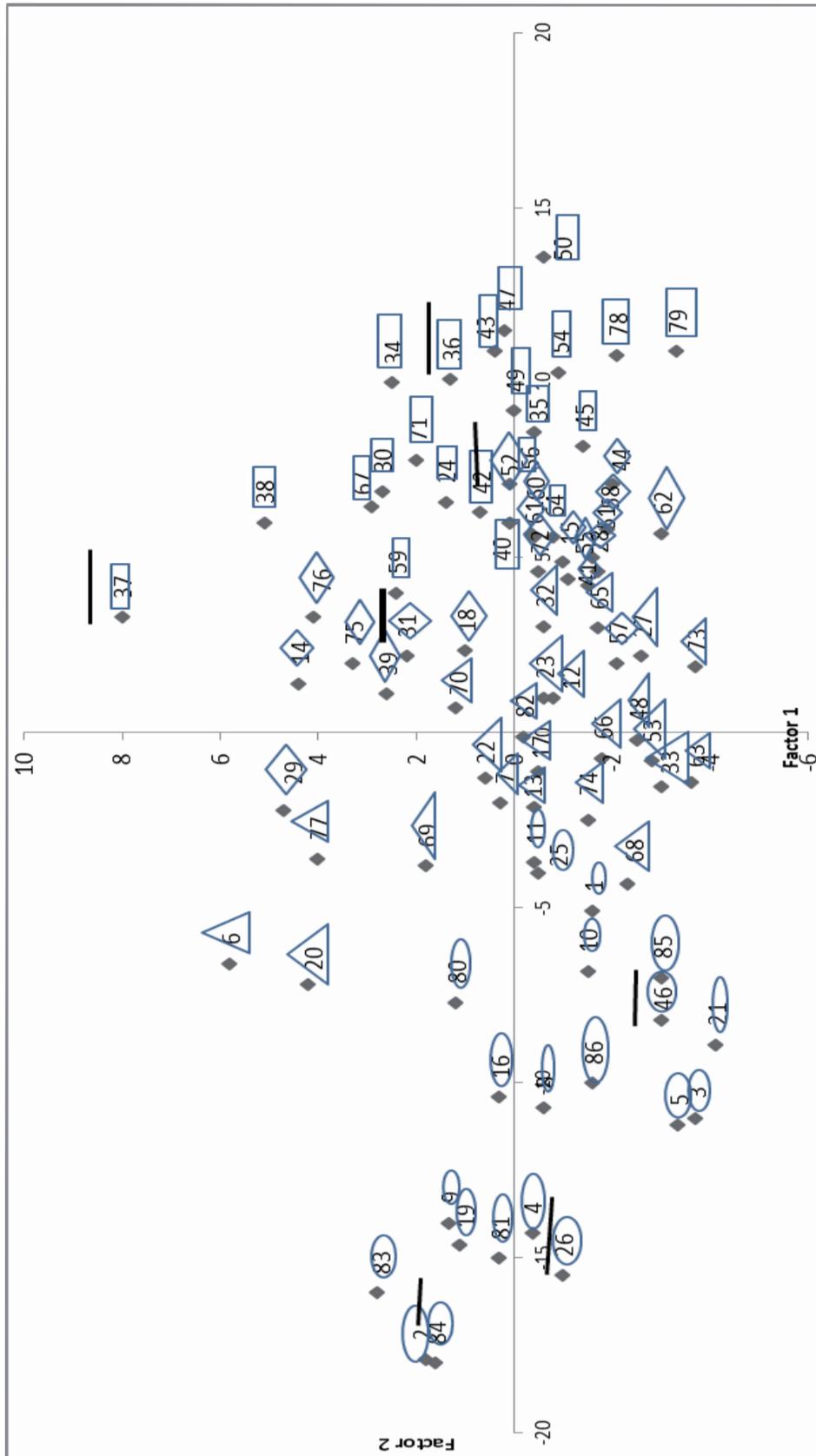
Tabla 3 Matriz de componentes rotados, correlaciones de las variables con cada componente

var	COMPONENTES					var	COMPONENTES				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
pH	0,080	-0,254	-0,230	0,595	-0,266	hij8	0,277	0,506	0,669	-0,013	0,081
Ce	-0,077	-0,032	-0,100	0,023	-0,912	hij9	0,225	0,498	0,703	-0,011	0,087
Na	-0,376	-0,316	-0,059	0,639	-0,250	c1	0,789	0,258	0,309	-0,034	-0,029
K	0,024	-0,076	0,100	0,762	0,383	c2	0,812	0,328	0,261	-0,043	0,102
hoj1	0,524	0,646	0,226	-0,101	-0,003	c3	0,796	0,416	0,248	-0,014	0,016
hoj2	0,500	0,712	0,269	-0,111	-0,094	c4	0,823	0,403	0,243	-0,040	0,038
hoj3	0,422	0,770	0,310	-0,075	0,032	c5	0,809	0,441	0,247	0,066	0,057
hoj4	0,448	0,779	0,257	-0,065	0,036	c6	0,807	0,374	0,234	0,032	0,022
hoj5	0,406	0,834	0,275	-0,024	0,044	c7	0,813	0,472	0,228	-0,012	0,056
hoj6	0,399	0,794	0,316	-0,119	0,009	c8	0,774	0,525	0,191	-0,019	0,093
hoj7	0,339	0,846	0,272	-0,123	0,053	c9	0,748	0,557	0,194	-0,023	0,067
hoj8	0,304	0,868	0,269	-0,114	0,076	alt1	0,842	0,124	0,423	-0,053	0,085
hoj9	0,321	0,863	0,306	-0,085	0,061	alt2	0,857	0,204	0,396	-0,087	0,013
hij1	0,495	0,240	0,760	-0,111	0,009	alt3	0,844	0,233	0,404	-0,084	0,038
hij2	0,544	0,091	0,718	-0,013	0,038	alt4	0,841	0,278	0,397	-0,070	0,025
hij3	0,497	0,245	0,738	-0,110	0,042	alt5	0,827	0,350	0,376	-0,060	0,019
hij4	0,455	0,261	0,768	-0,075	-0,025	alt6	0,814	0,391	0,371	-0,066	0,003
hij5	0,242	0,331	0,714	-0,130	0,054	alt7	0,792	0,443	0,371	-0,051	0,020
hij6	0,242	0,268	0,810	0,002	0,099	alt8	0,748	0,512	0,339	-0,066	0,022
hij7	0,311	0,432	0,720	0,071	0,069	alt9	0,719	0,537	0,345	-0,065	0,032

Tabla 4 Clasificación de los individuos por rangos de circunferencia, altura, número de hojas y sodio

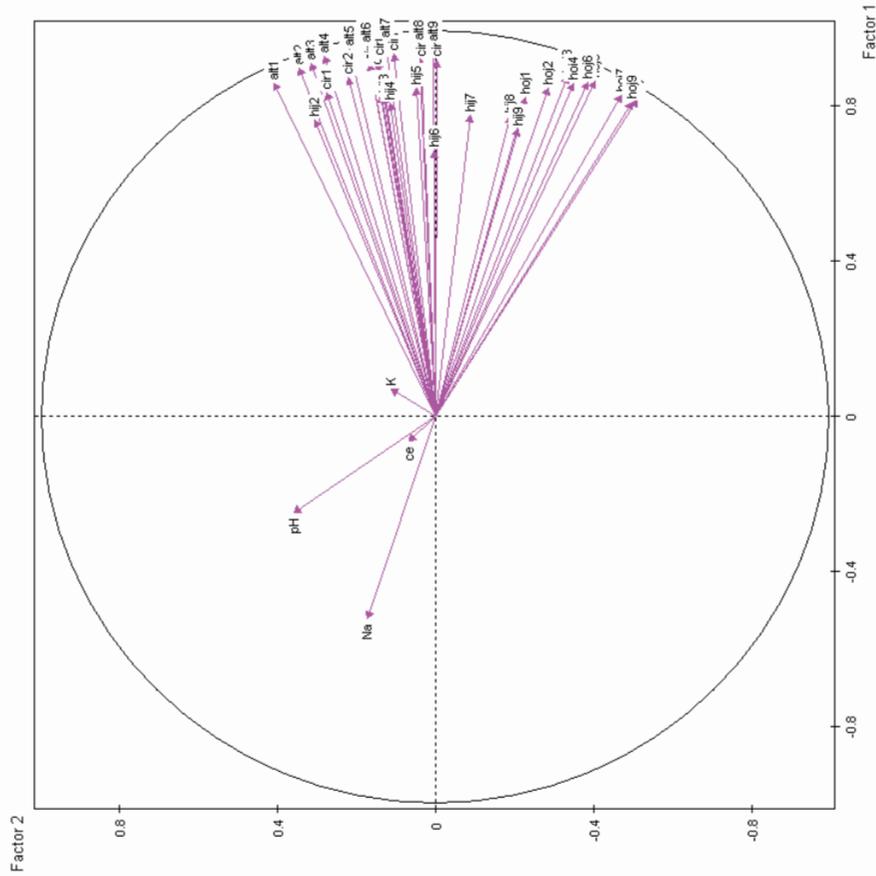
Circunferencia de pseudotallos	Altura de plantas										Número de Hojas									
	Promedio 1,6275 metros										Promedio 9,8215 hojas									
	0,0995-0,251	0,251-0,3145	0,3145-0,369	0,369-0,4685	0,4685-0,571	0,571-0,677	0,677-0,787	0,787-0,897	0,897-1,007	1,007-1,117	1,117-1,227	1,227-1,337	1,337-1,447	1,447-1,557	1,557-1,667	1,667-1,777	1,777-1,887	1,887-1,997	1,997-2,107	
I	0,185-0,465	26-46-74	33-41-65-73-77	37-42-43-51-54-67-78-79	33-65-73-74-77	41-44-51	37-38-40-42-43-49-54-59-67-78-79	33-40-41-59-65-67-73	38-46-74	6,94-9,8215	0,995-6,94	2,0763-2,6985	1,6275-2,0763	1,1787-1,6275	0,2495-1,1787	0,369-0,4685	0,3145-0,369	0,251-0,3145	0,0995-0,251	11,734-17,035
II	0,465-0,608	5-25	32-48-57-61-63-66-68-80-82	30-34-36-50-60-64-76	5-25-80	15-28-55-57-60-61-75-76	30-34-36-45-50-64	15-30-25-66-68-75-76-82	7-13-25-66-68-75-76-82	5-80	30-34-36-45-50-64	15-28-55-57-60-61-75-76	7-13-25-66-68-75-76-82	17-22-27-69-70	11-21-85-86	35-47-58-62-71	14-24-27-56-69-72	11-17-18-22-70	21-85-86	28-34-36-45-50-55-60-64
III	0,608-0,810	21-85-86	11-17-18-22-70	35-47-58-62-71	11-21-85-86	14-18-58-62-72	24-35-47-56-71	11-17-18-21-22-70-85	11-17-18-21-22-70-85	14-69-86	24-35-47-56-71	14-18-58-62-72	17-22-27-69-70	11-21-85-86	35-47-58-62-71	14-24-27-56-69-72	11-17-18-22-70	21-85-86	27-35-47-56-58-62	
IV	0,810-2,015	1-2-3-4-8-9-10-16-19-81-83-84	6-12-20-29-53	1-2-3-4-8-9-10-16-19-81-83-84	6-12-20-23-53	29-31-39-52	2-3-4-6-8-9-16-19-20-29-81-83-84	2-3-4-6-8-9-16-19-20-29-81-83-84	1-10-39	2-3-4-6-8-9-16-19-20-29-81-83-84	29-31-39-52	29-31-39-52	6-12-20-23-53	1-2-3-4-8-9-10-16-19-81-83-84	12-23-31-52-53	12-23-31-52-53	12-23-31-52-53	12-23-31-52-53	12-23-31-52-53	

figura 1 Nube de puntos de individuos (Plantas)



Leyenda: ○ : Muy mala, △ : Mala, ◇ : Buena, □ : Muy buena — : comportamiento morfo-estructural atípico

figura 2 Nube de puntos variables



Leyenda:

pH:	concentración hidrogeniónica	Na <sub>i</sub>	sodio	hoj <sub>1</sub> ...hoj <sub>y</sub> :	número de hojas
Ce:	conductividad eléctrica	c <sub>1</sub> ...c <sub>9</sub> :	circunferencia del seudotallo	hij <sub>1</sub> ...hij <sub>y</sub> :	número de hijos
K:	potasio	alt <sub>1</sub> ...alt <sub>9</sub> :	altura del seudo-tallo		