

Efecto de la distancia de siembra y método de siembra sobre características morfológicas, agronómicas y composición proximal del cultivo de yuca, en un diseño factorial 2 x 3

Presentado por

Diana María Sánchez Olaya

Fundación Universitaria Los Libertadores

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

Especialización en Estadística Aplicada

Bogotá D.C., Colombia

2019

Efecto de la distancia de siembra y método de siembra sobre características morfológicas,
agronómicas y composición proximal del cultivo de yuca, en un diseño factorial 2 x 3

Presentado por

Diana María Sánchez Olaya

En cumplimiento parcial de los requerimientos para optar al título de

Especialista en Estadística Aplicada

Dirigida por

Manuel Francisco Romero Ospina

Magíster en bioinformática

Fundación Universitaria Los Libertadores

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

Especialización en Estadística Aplicada

Bogotá D.C., Colombia

2019

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, D.C., Septiembre de 2019

Las directivas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento.

Estos corresponden únicamente a los autores y a los resultados de su trabajo.

Dedicatoria

María Paula.

Todo el esfuerzo realizado durante un año, te lo dedico a ti hija, porque me regalaste parte de tu tiempo para estudiar, porque me brindaste esa sonrisa hermosa en los momentos difíciles, porque me abrazaste cuando más lo necesitaba.

Eres la luz de mi vida, mi razón de ser, por eso este logro es para ti.

Te amo.

Agradecimientos

A Dios, por permitirme estar en este momento de mi vida rodeada de personas que me brindan su apoyo y su cariño.

A mi esposo, Oscar Gerardo, por ser mi compañero de vida, mi mano derecha, mi todo.

A mi hija, María Paula, por brindarme parte de su tiempo para lograr esta meta.

A mi madre, María Esther, por su apoyo incondicional.

A mi padre, Dagoberto, por sus palabras de aliento en los momentos difíciles de este proceso.

A mis hermanos, Miguel y Andrés, por sus consejos.

A mis sobrinos, Anyelo y Xiomara, por su compañía.

Al profesor Manuel Francisco, por confiar en mí y ser mi tutor, por su paciencia infinita y su dedicación durante todo este tiempo.

A la profesora Lida, por su valiosa ayuda.

Sin ustedes no hubiese sido posible este sueño.

Gracias.

Índice general

	Pág.
1. Introducción.....	14
2. Planteamiento del problema	16
3. Objetivos.....	18
3.1 General	18
3.2 Específicos	18
4. Justificación.....	19
5. Marco Teórico	20
5.1 Cultivo de yuca.....	20
5.1.1 Distribución.....	20
5.1.2 Taxonomía.	20
5.1.3 Morfología.	21
5.1.4 Requerimientos climáticos y edáficos.	22
5.1.5 Fenología del cultivo.....	22
5.1.6 Método de siembra.....	24
5.1.7 Distancia de siembra.	26
5.2 Descriptores morfológicos y agronómicos.....	26
5.3 Análisis proximal	26
5.3.1 Humedad.	27
5.3.2 Proteína.	27
5.3.3 Ceniza.	27
5.3.4 Grasa.	27
5.4 Diseño experimental.....	28
5.4.1 Experimentos factoriales.....	30
5.4.2 Análisis de la varianza.	32
5.4.3 Prueba de comparación de medias.....	35
5.4.4 Análisis no paramétrico	36
5.4.5 Análisis de componentes principales	37
6. Marco Metodológico	39

6.1	Método	39
6.2	Enfoque	39
6.3	Diseño metodológico.....	39
6.3.1	Localización.....	39
6.3.2	Material vegetal.	40
6.3.3	Unidad experimental.....	40
6.3.4	Diseño experimental.	40
6.3.5	Características morfológicas.....	41
6.3.6	Características agronómicas.....	43
6.3.7	Análisis proximal.....	44
6.4	Diseño estadístico.....	47
6.4.1	Imputación de datos.	47
6.4.2	Exploración de modelos lineales y criterio de selección.	47
6.4.3	Análisis de la varianza de la distancia de siembra y método de siembra	47
6.4.4	Evaluación de los supuestos del modelo.....	49
6.4.5	Comparación múltiple de medias.....	49
6.4.6	Análisis de componentes principales	49
6.4.7	Software estadístico	50
7.	Análisis y resultados.....	51
7.1	Verificación de supuestos del ANOVA	51
7.1.1	Normalidad	51
7.1.2	Homogeneidad de varianzas	54
7.1.3	Independencia	54
7.2	Identificación de interacciones entre distancia de siembra y método de siembra.....	57
7.2.1	Características morfológicas y agronómicas	57
7.2.2	Composición proximal.....	60
7.3	Relación entre características morfológicas, agronómicas y composición proximal.....	63
8.	Conclusiones y recomendaciones	69
9.	Referencias bibliográficas	70
Anexos	79

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Ciclo fenológico del cultivo de yuca	24
Figura 2. Distribución de las raíces según la posición de siembra de la estaca: A) vertical, B) inclinada y C) horizontal.....	25
Figura 3. Categorías de los diseños de experimentos	28
Figura 4. Validación gráfica del supuesto de normalidad para los residuales de las características morfológicas, agronómicas y composición proximal.	52
Figura 5. Validación gráfica del supuesto de homogeneidad de varianzas para los residuales de las características morfológicas, agronómicas y composición proximal.	55
Figura 6. Validación gráfica del supuesto de independencia para los residuales de las características morfológicas, agronómicas y composición proximal.	56
Figura 7. Porcentaje de variabilidad explicado en los primeros diez componentes para las características morfológicas, agronómicas y composición proximal en relación con la distancia y método de siembra en el cultivo de yuca.	65
Figura 8. Biplot del ACP de los efectos entre las características morfológicas, agronómicas y composición proximal con la distancia y método de siembra en el cultivo de yuca.	67

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Tratamientos evaluados	41
Tabla 2. Prueba de Shapiro – Wilk para los residuales de las características morfológicas, agronómicas y composición proximal.	53
Tabla 3. Análisis de varianza de los efectos bloque (B), distancia de siembra (D), método de siembra (M), y sus interacciones (D*M), para las características morfológicas y agronómicas..	57
Tabla 4. Prueba de Tukey para el peso de raíces no comerciales y rendimiento de acuerdo a la distancia y método de siembra.....	58
Tabla 5. Prueba de Tukey para el porcentaje de emergencia y peso de raíces comerciales de acuerdo al método de siembra.....	59
Tabla 6. Prueba de Tukey para el porcentaje de emergencia, peso de semilla y peso de raíces no comerciales, de acuerdo al bloque.	59
Tabla 7. Análisis de varianza de los efectos distancia de siembra (D), método de siembra (M), y sus interacciones (D*M), para la composición proximal de harina de yuca en base seca.....	60
Tabla 8. Prueba de Tukey para el contenido de cenizas de acuerdo a la distancia y método de siembra.....	61
Tabla 9. Prueba de Tukey para el contenido de humedad y grasa de acuerdo al método de siembra.....	62
Tabla 10. Prueba de Tukey para el contenido de proteína cruda de acuerdo a la distancia de siembra.....	62
Tabla 11. Características morfológicas, agronómicas y proximales utilizadas en el ACP.....	63
Tabla 12. Autovalores y porcentaje de variabilidad explicado en cada uno de los componentes para las características morfológicas, agronómicas y composición proximal en relación con la distancia y método de siembra en el cultivo de yuca.....	64
Tabla 13. Coeficientes de correlación, calidad de representación y contribución de cada una de las características evaluadas en los primeros cuatro componentes.	66

Índice de ecuaciones

	Pág.
Ecuación 1. AIC.....	32
Ecuación 2. Estadístico de Tukey	35
Ecuación 3. Área del suelo.....	42
Ecuación 4. Contenido de humedad.....	45
Ecuación 5. Contenido de proteína	45
Ecuación 6. Contenido de ceniza	46
Ecuación 7. Contenido de grasa.....	46
Ecuación 8. Modelo lineal con interacción.....	48
Ecuación 9. Modelo lineal sin interacción	48

Índice de anexos

	Pág.
Anexo 1. Sentencias en RStudio para el ANOVA, verificación de supuestos y test de Tukey HSD de la característica morfológica porcentaje de emergencia.	79
Anexo 2. Sentencias en RStudio para el ANOVA, verificación de supuestos y test de Tukey HSD de las características agronómicas.	81
Anexo 3. Sentencias en RStudio para el ANOVA, verificación de supuestos y test de Tukey HSD de la composición proximal.	88
Anexo 4. Sentencias en RStudio para el análisis de componentes principales entre las características morfológicas, agronómicas y composición proximal.	95

Efecto de la distancia de siembra y método de siembra sobre características morfológicas, agronómicas y composición proximal del cultivo de yuca, en un diseño factorial 2 x 3

Resumen

A partir del uso de modelos lineales, análisis de la varianza y componentes principales, se evaluó el efecto de la distancia de siembra y método de siembra sobre las características morfológicas, agronómicas y composición proximal del cultivo de yuca, en un experimento factorial 2 x 3 bajo un diseño de bloques completamente al azar con 5 repeticiones. Se evaluaron nueve características morfológicas a los 42 días después de la siembra (dds), tiempo que corresponde al inicio de la tuberización. La cosecha se efectuó a los 360 dds y se registraron cinco características agronómicas, además se hizo la determinación de cuatro características de análisis proximal de la harina de yuca. Los resultados mostraron diferencias significativas en algunas características agronómicas y de composición proximal (p -valor $< 0,05$). En cuanto al rendimiento, sobresalieron las distancias de siembra de 1m x 1m y 1,2m x 1,2m con el método de siembra inclinado, obteniendo rendimientos experimentales de 17,80 y 14,01 Ton ha⁻¹, respectivamente, por lo tanto, la tendencia a producir mayor peso de raíces comerciales fue en el método de siembra inclinado con media de 53,86 kg de raíces comerciales. Por su parte, el contenido de proteína cruda varió de manera significativa con respecto a la distancia de siembra, donde se destaca la distancia de 1,2m x 1,2m con media de 1,24%, seguido por la distancia de 0,8m x 1,4m con 1,16%. En general, el método de siembra inclinado con la distancia de siembra de 1m x 1m, estuvo principalmente asociado con las características agronómicas del cultivo de yuca bajo condiciones agroclimáticas del municipio de Florencia - Caquetá.

Palabras claves: *Manihot esculenta*, rendimiento, modelo lineal, análisis de componentes principales.

1. Introducción

Las principales ventajas de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) son su mayor eficiencia en la producción de carbohidratos en relación con los cereales y su alto porcentaje de almidón contenido en la materia seca; adicionalmente, es un cultivo cuya producción se adapta a ecosistemas diferentes, y se puede producir en condiciones adversas y climas marginales (Vargas, 2010). Dentro de la especie *M. esculenta* se ha identificado una amplia variabilidad genética, incluyendo rasgos de naturaleza agronómica y morfológica, resistencia a las principales plagas y enfermedades y rasgos de calidad (Marín, Perdomo, Albarrán, Fuenmayor y Zambrano, 2008).

De este modo, en el presente proyecto se parte de la siguiente pregunta de investigación ¿de qué manera la distancia y el método de siembra son factores que inciden sobre las características morfológicas, agronómicas y composición proximal del cultivo de yuca?, a partir de esto se establece el objetivo general de evaluar los efectos de la distancia de siembra y método de siembra sobre las características morfológicas, agronómicas y composición proximal del cultivo de yuca, utilizando un diseño factorial 2 X 3; para dar cumplimiento a este aspecto, se utiliza un enfoque cuantitativo que usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

En el segundo, tercer y cuarto capítulo del trabajo se establece el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación, respectivamente. En el quinto capítulo se presenta el marco teórico que fundamenta el trabajo, donde se realiza la distinción de los aspectos teóricos acerca del cultivo de yuca, descriptores morfológicos y agronómicos, análisis proximal y diseño

experimental. En el sexto capítulo, se describe la propuesta metodológica para resolver el problema y los objetivos, así como el diseño metodológico que corresponde a un experimento factorial 2×3 bajo un diseño de bloques completamente al azar con 5 repeticiones, a su vez se describe cada una de las características morfológicas, agronómicas y composición proximal evaluadas.

A partir de lo anterior, se realizó la exploración de modelos lineales, el análisis de varianza, evaluación de supuestos, comparación múltiple de medias y el análisis de componentes principales con el software RStudio.

En el capítulo siete, se presentan los análisis y resultados de los mismos, los cuales se elaboraron a partir de los objetivos propuestos, antecedido del análisis estadístico. Finalmente, se presentan las conclusiones, las recomendaciones, los referentes bibliográficos y los anexos.

2. Planteamiento del problema

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 1974) a través del programa de yuca, ha realizado una serie de investigaciones en este cultivo con miras a mejorar variedades y prácticas de producción para incrementar los rendimientos por unidad de superficie y distribuir estos conocimientos a las regiones productoras de yuca en los trópicos. De acuerdo a Suárez y Mederos (2011), la importancia económica del cultivo de yuca se encuentra en el valor nutritivo de las raíces, dado su alto contenido en carbohidratos representa una importante fuente energética que puede ser complementada con proteínas de alto valor nutritivo, constituyendo una buena opción para la formulación de nuevos alimentos (Benítez et al., 2008), no obstante una de las mayores limitaciones para aumentar el consumo de yuca en la alimentación es la dificultad de conservar las raíces después de la cosecha (Aristizábal, Sánchez y Lorío, 2008).

Toro y Atlee (1981), reportan que el potencial de rendimiento promedio del cultivo es bajo, debido a las prácticas agronómicas deficientes y la falta de variedades adecuadas, pero existen otros factores que inciden sobre los problemas para el desarrollo del cultivo, donde se encuentran: influencia de las tecnologías de regiones templadas, duración de cada ciclo de selección y baja tasa de reproducción, ausencia de cultivares específicamente desarrollados para la industria, políticas gubernamentales, volumen de las raíces y rápida perecebilidad, escaso desarrollo de los mercados (Ospina y Ceballos, 2002).

Sumado a lo anterior, existe una inapropiada distribución espacial de las plantas, en su mayoría, son arreglos espaciales adaptados a la maquinaria que se emplea para realizar las prácticas culturales sin tener en cuenta la biología de la planta, por lo que muchas veces no se utiliza todo el espacio agrícola al establecerla en monocultivo (Mojena y Bertolí, 2004), lo que

genera bajas densidades de siembra, que producen bajos rendimientos (Navarro, Bustamante, López y Manzanares, 2005). La posición en la que se siembran las estacas también es un factor que influye en la distribución de las raíces reservantes e igualmente en el proceso de la cosecha (Medina et al., 2014). De acuerdo a lo anterior, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿de qué manera la distancia y el método de siembra son factores que inciden sobre las características morfológicas, agronómicas y composición proximal del cultivo de yuca?

3. Objetivos

3.1 General

Evaluar los efectos de la distancia de siembra y método de siembra sobre las características morfológicas, agronómicas y composición proximal del cultivo de yuca, utilizando un diseño factorial 2 X 3.

3.2 Específicos

- Verificar los supuestos del análisis de varianza para las características morfológicas, agronómicas y composición proximal.

- Identificar las interacciones entre distancia y método de siembra que presentan diferencias significativas para las características morfológicas, agronómicas y composición proximal.

- Utilizar una técnica de análisis multivariado que permita relacionar las características morfológicas, agronómicas y composición proximal con la distancia y método de siembra.

4. Justificación

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) tiene una presencia constante en los sistemas de producción agrícola de las regiones subtropicales y tropicales, debido a su consumo diario, importancia en la optimización del recurso suelo y su contribución a la economía familiar (Meza y Julca, 2015), por tanto, desarrollar modelos para la siembra de yuca es de vital importancia para los agricultores, ya que es un cultivo de alto interés para la seguridad alimentaria de las familias colombianas (Aguilera, 2012).

En Colombia, es clave mejorar la competitividad del cultivo de yuca y convertirlo en una fuente de recursos atractiva, en el mercado potencial de carbohidratos (Rodríguez y Sanders, 2016), por este motivo es importante controlar los factores que favorecen la explotación agrícola (Medina et al., 2014), de modo que, las prácticas culturales como: tamaño de la estaca, posición y profundidad de siembra, densidad óptima, época de siembra y tiempo de cosecha son factores que permiten asegurar el éxito en la producción (Arismendi, 2001).

De acuerdo a Aguilera (2012): “sobre la yuca se han realizado diversos estudios, especialmente en aspectos nutricionales, mecanización, fertilización del cultivo, manejo de plagas y enfermedades, mejoramiento de los rendimientos, costos de la producción y plantas procesadoras de la harina para la alimentación humana y animal” (p.5). Lo anterior, destaca la necesidad de evaluar la respuesta de la planta de yuca a la posición de siembra de la estaca y distancia de siembra bajo condiciones agroclimáticas del municipio de Florencia - Caquetá.

5. Marco Teórico

5.1 Cultivo de yuca

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz), junto con el maíz, la caña de azúcar y el arroz, constituyen las fuentes de energía más importantes en las regiones tropicales del mundo; originaria de América del Sur, la yuca fue domesticada hace unos 5000 años y cultivada extensivamente desde entonces en zonas tropicales y subtropicales del continente (Ospina y Ceballos, 2002).

5.1.1 Distribución.

El origen de la yuca y el sitio donde tuvo lugar su domesticación aún no ha sido establecido definitivamente, sin embargo, existe un reconocimiento muy generalizado, de que este cultivo se originó en América tropical (Ospina y Ceballos, 2002).

Las llamadas especies amargas y dulces se encuentran distribuidas en regiones distintas de las Américas, lo que sugiere que fueron domesticadas en diferentes localidades, algunos investigadores sugieren que la yuca amarga fue domesticada en el norte de América del Sur, probablemente al este de los Andes, y que la yuca dulce fue domesticada independientemente en América Central y es en la cuenca amazónica en donde el género botánico al cual pertenece la yuca muestra su mayor variabilidad genética. (Ramírez y Jiménez, 2008)

5.1.2 Taxonomía.

La yuca pertenece al reino vegetal, división Spermatophyta, subdivisión Angiospermae y a la clase Equisetopsida, subclase Magnoliidae, se encuentra ubicada en el orden Malpighiales, Familia Euphorbiaceae, Tribu Manihotae a la que pertenece el género *Manihot* (Suárez y Mederos, 2011; Tropicos, 2019).

5.1.3 Morfología.

La yuca es un arbusto leñoso perenne de tamaño variable de 1 – 5 m de altura (Cock, 1989), los cultivares se agrupan según su tamaño en: bajos (hasta 1,5 m); intermedios (1,5 – 2,5 m); y altos (más de 2,5 m).

Los tallos y ramas se componen de una corteza constituida por una parte externa de súber (corcho) y felógeno y una interna de felodermis y liber y; de un cilindro central que está formado por parte leñosa externa y médula interna (Bautista, 2003).

Las hojas son alternas, simples y tienen vida corta, son caedizas y duran de uno a dos meses, los pecíolos largos y finos, de 20 a 40 cm de largo, son rectos o curvos según el cultivar, el color del pecíolo es otra característica varietal; puede ser púrpura, rojo o verde, uniforme o manchado (Bautista, 2003).

El fruto es una cápsula deshiscente y trilocular de forma ovoide o globular, de 1 a 1.5 cm de diámetro con seis aristas, se compone de una serie de tejidos bien diferenciados: epicarpio, mesocarpio y endocarpio (Bautista, 2003). La semilla tiene forma elíptica de 1-1.5 cm. de longitud, 6 mm de ancho y 4 mm de espesor, la testa es lisa, de color café con moteado gris (Torres, 2010).

La principal característica de las raíces de la yuca es su capacidad de almacenamiento de almidón; cuando la planta proviene de semilla sexual, se desarrolla una raíz primaria pivotante y varias de segundo orden, aparentemente, la raíz primaria siempre evoluciona para convertirse en una raíz tuberosa y es la primera en hacerlo, pero si la planta proviene de estacas las raíces son adventicias y se forman en la base inferior cicatrizada de la estaca, que se convierte en una callosidad y también a partir de las yemas de la estaca que están bajo tierra, estas raíces al

desarrollarse, inicialmente forman un sistema fibroso, pero después algunas de ellas (generalmente menos de 10) inician su engrosamiento y se convierten en raíces tuberosas (Torres, 2010).

5.1.4 Requerimientos climáticos y edáficos.

Es un cultivo rústico que se adapta a una amplia gama de condiciones agroambientales, dado que se siembra desde los 0 a los 2000 metros sobre el nivel del mar (msnm), en un rango de temperatura entre 20 y 30 °C y una temperatura óptima de 24 °C; humedad relativa de 50 a 90%, con un valor adecuado del 72%; precipitación de 600 a 3000 milímetros de lluvia anual, con un rango óptimo de 1000 a 1800 milímetros. Cabe indicar que la yuca muestra resistencia a la sequía gracias a sus mecanismos fisiológicos de adaptación como reducción de la lámina foliar y lóbulos, cierre de estomas, menor transpiración y toma de nutrientes, y profundización de las raíces en búsqueda de agua dentro del suelo, lo que le permite desarrollarse en climas con régimen de lluvia monomodal y veranos prolongados, como ocurre en la zona de la Orinoquia y en algunas áreas de la Costa Atlántica; igualmente se adapta a suelos de baja fertilidad, pH de 4,0 a 7,8 y de texturas arenosas, francas y arcillosas; condiciones de baja fertilidad y niveles de salinidad medios a altos en los suelos, así como la pérdida de la estructura, la compactación y el sellamiento de la superficie por mal manejo del suelo, pueden llegar a afectar el desarrollo y los rendimientos en la producción de los cultivos de yuca (Departamento Nacional de Estadística [DANE], 2016).

5.1.5 Fenología del cultivo

Su ciclo de crecimiento desde la siembra a la cosecha, depende de las condiciones ambientales: es más corto, de 7 a 12 meses, en áreas más cálidas y es más largo, 12 meses o más, en regiones con alturas de 1 300 a 1 800 msnm (Aristizábal y Sánchez, 2007).

5.1.5.1 Etapa de crecimiento lento.

Esta etapa comprende desde la siembra hasta los 60 días después de la siembra (dds), se caracteriza por la brotación de las estacas, las cuales forman primero raíces (5-7 dds) y posteriormente se desarrollan los tallos y las hojas, el crecimiento de estas estructuras es lento; durante los primeros meses los productos de la fotosíntesis son utilizados por estos órganos para su crecimiento (Aguilar et al., 2016).

5.1.5.2 Etapa de máximo crecimiento.

Este periodo abarca desde los 60 dds hasta los 150 dds, en esta fase los tallos se ramifican y las hojas crecen, alcanzando su máximo crecimiento a los 150 dds. Durante esta fase se lleva a cabo la mayor producción de biomasa (tallos y hojas) y se alcanza el mayor índice de área foliar. Además, a los 75 dds se inicia el proceso de formación de las raíces de almacenamiento y posteriormente se da la fase inicial del llenado o engrosamiento de esas raíces (Aguilar et al., 2016).

5.1.5.3 Etapa de senescencia.

Esta fase va desde los 150 dds a la cosecha, que en el caso de la variedad Valencia se da 240-300 dds (8-10 meses después de la siembra), esta fase se caracteriza por una disminución en la biomasa aérea, debido a un menor crecimiento de la producción de tallos y hojas; disminuye el tamaño de las hojas, pero no su cantidad. Sin embargo, después de los 210 dds se reduce la producción de hojas, lo que acelera el proceso de senescencia de la planta e incrementa la traslocación de fotoasimilados a las estructuras de reserva o raíces de almacenamiento (Aguilar et al., 2016).

Aristizábal y Sánchez (2007) indican que la producción del cultivo de yuca se desarrolla en varias etapas: a) Enraizamiento de las estacas en el primer mes; b) Tuberización, entre el primer y segundo mes o hasta el tercero, dependiendo del cultivar; c) Engrosamiento radical, entre el tercero y cuarto mes o hasta el sexto, dependiendo del cultivar; d) Acumulación, entre el quinto y sexto mes hasta el final del ciclo del cultivo (Figura 1).

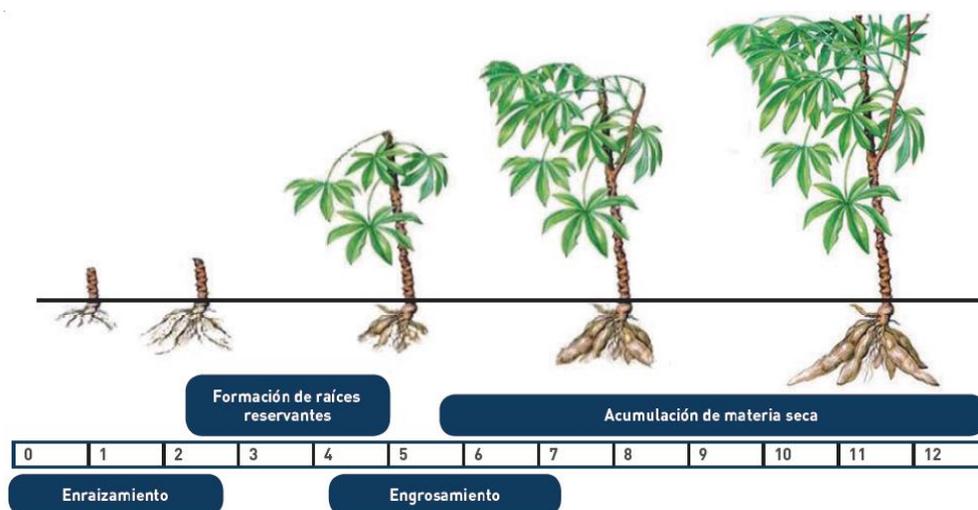


Figura 1. Ciclo fenológico del cultivo de yuca

Tomado de Aguilar et al., 2016.

5.1.6 Método de siembra.

La forma como se realiza la siembra de las estacas también afecta la manera en que las raíces se distribuirán. Cuando la estaca es plantada de manera vertical, éstas producen raíces alrededor de la callosidad que se forma en el extremo inferior de la estaca, algunas raíces provenientes de yemas laterales de la estaca también pueden convertirse en raíces tuberosas (Ceballos y De la Cruz, 2002).

Las raíces tuberosas tienden a explorar y ubicarse en estratos más profundos del suelo, cuando la posición de siembra es inclinada, también tienden a formarse en la callosidad, pero

como en el caso anterior, otras raíces pueden emerger de las yemas laterales que están bajo tierra (Ceballos y De la Cruz, 2002).

Si la estaca se ubica de manera horizontal, las raíces tuberosas se distribuyen a lo largo de la estaca, porque se forman en las yemas laterales y en ambos extremos de la misma, la ubicación de las estacas tiende a ser más superficial y dispersas, por lo tanto, la cosecha puede facilitarse con este método de colocación de la estaca en el suelo (Ceballos y De la Cruz, 2002) (Figura 2).

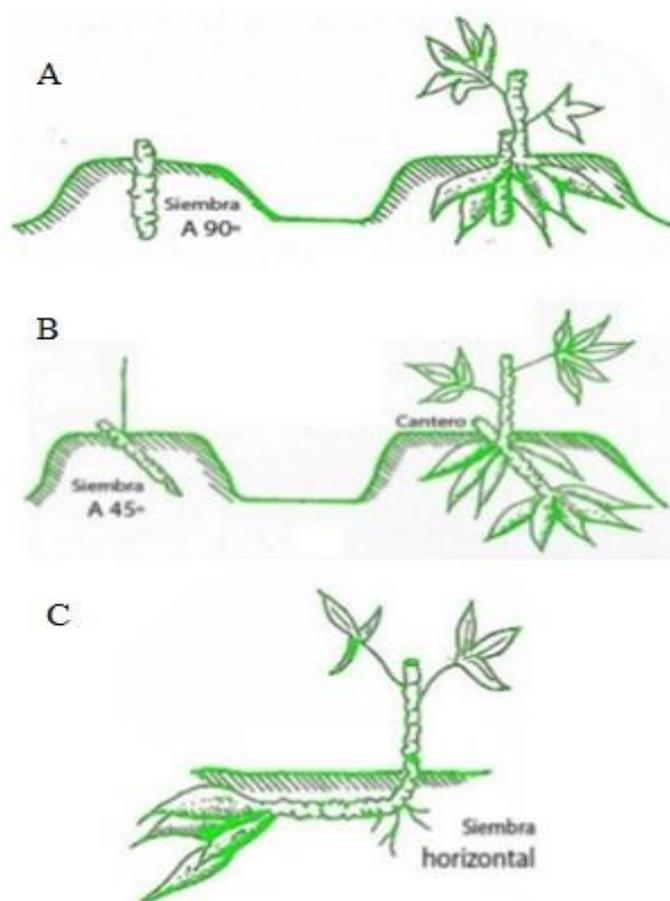


Figura 2. Distribución de las raíces según la posición de siembra de la estaca: A) vertical, B) inclinada y C) horizontal.

Adaptado de Ceballos y De la Cruz, 2002; Armas, s.f.

5.1.7 Distancia de siembra.

La utilización de una adecuada distancia de siembra tiene gran importancia porque permite intensificar las técnicas del cultivo entre los agricultores, para lograr un mayor rendimiento de follaje y raíces con una mayor eficiencia en el uso de la tierra, a un menor costo de producción (Arismendi, 2001).

La densidad de siembra depende de la fertilidad del suelo, la época de plantación y de la arquitectura de la planta, la cual está definida por la variedad a establecer; la distancia de siembra puede ser de 80 x 80 centímetros, lo que da un número de plantas de 15.625 por hectárea o de 100 x 100 centímetros, correspondiendo a 10.000 por hectárea (DANE, 2016).

5.2 Descriptores morfológicos y agronómicos

Los descriptores morfológicos y agronómicos son todas las características que permiten identificar fácilmente y diferenciar una variedad, con heredabilidad y estabilidad frente a los cambios ambientales; para la caracterización de *M. esculenta* se cuenta con una lista actualizada de descriptores morfológicos y agronómicos estandarizados por el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (Jaramillo, 2002). Estas características son utilizadas como criterios de clasificación o para realizar agrupaciones en los bancos de germoplasma, siendo algunas de ellas de importancia agronómica para facilitar las labores de campo del cultivo (Marín et al., 2008).

5.3 Análisis proximal

El análisis proximal es el método más usado para expresar la calidad nutritiva global de un alimento, mide la cantidad de nutrientes presentes, divididos en seis grupos: contenido de humedad

(agua), proteína bruta, fibra cruda, cenizas, extracto etéreo y los elementos libres de nitrógeno que constituyen una medida indirecta del contenido total de carbohidratos (Barrera, Tapia y Monteros, 2004).

5.3.1 Humedad.

Los alimentos en su estado natural están compuestos por materia seca y agua en cantidades específicas; la humedad de un producto se expresa en forma porcentual en base húmeda o en base seca como la cantidad de agua contenida en el producto húmedo o seco (Puerta, 2006).

5.3.2 Proteína.

Las proteínas son biomoléculas formadas básicamente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, pueden además contener azufre y en algunos tipos de proteínas, fósforo, hierro, magnesio y cobre entre otros elementos (Bedoya, 2016).

5.3.3 Ceniza.

La materia orgánica en un alimento puede ser dividida en materia orgánica y inorgánica. Compuestos que contienen carbón (C), hidrógeno (H), oxígeno (O) y nitrógeno (N) son clasificados como orgánicos, los compuestos inorgánicos o minerales son los demás elementos químicos (calcio, fósforo etc.); cuando una muestra de alimento es colocada en un horno y mantenida a 550°C por 24 horas la materia orgánica esta quemada y la materia restante es la parte mineral, llamada ceniza (Wattiaux, Homan, Moreno y Rodríguez, 1998).

5.3.4 Grasa.

El contenido de grasa, también llamado extracto etéreo, puede estar formado por lípidos enlazado y lípidos libres; estos últimos básicamente consisten en grasas neutras (triglicéridos) y

ácidos grasos libres los cuales pueden ser extraídos por disolventes como éter etílico o fracciones ligeras del petróleo, en cambio, los lípidos enlazados requieren de una hidrólisis con disolventes más polares para su extracción (Ortiz, 2006).

5.4 Diseño experimental

El diseño estadístico de experimentos es una metodología que permite plantear distintas estrategias para seleccionar, controlar, analizar e interpretar diferentes condiciones de estudio en un fenómeno de una manera objetiva y sistemática (Castaño y Domínguez, 2007). Los diseños de experimentos han sido agrupados en tres categorías, atendiendo al tipo de problema que se pretende resolver con los mismos (Figura 3) (Fernández et al., 2008).

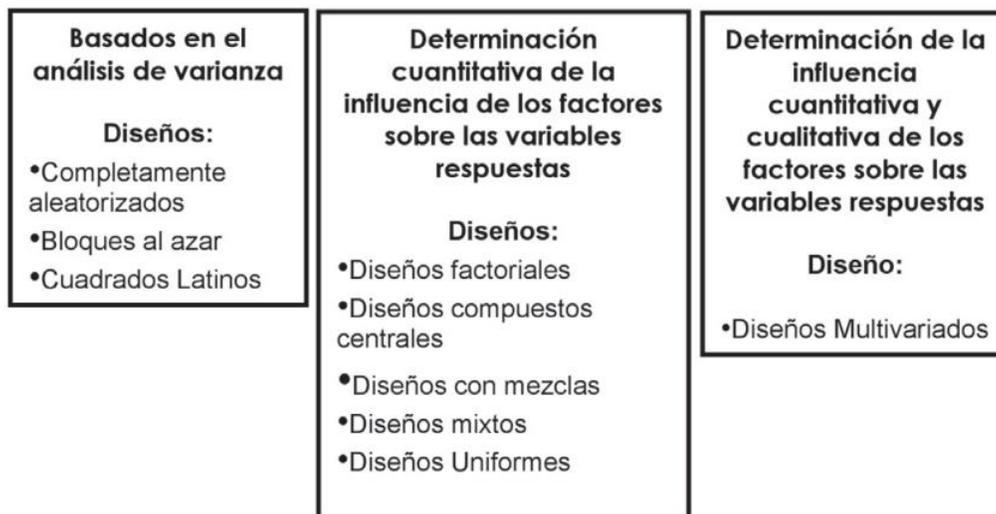


Figura 3. Categorías de los diseños de experimentos

Tomado de Fernández et al., 2008.

De acuerdo a López y González (2014), un buen diseño experimental es aquel que proporciona la información requerida con el mínimo esfuerzo experimental, por lo tanto, se debe hacer énfasis en características como:

- a) Simplicidad: la selección de los tratamientos y su disposición en el experimento debe ser lo más simple posible, pero consistente con los objetivos del problema.
- b) Grado de precisión: el experimento debe ser capaz de medir diferencias entre tratamientos, con el grado de precisión deseado, lo cual está muy asociado a diseño empleado, al tamaño de la unidad experimental y al número de repeticiones.
- c) Ausencia de errores sistemáticos: las unidades experimentales que reciben el mismo tratamiento no deben tener diferencias sistemáticas con las que reciben cualquier otro tratamiento, para poder obtener una buena estimación del efecto de los tratamientos.
- d) Amplio rango de validez de las conclusiones: es deseable tratar de que las conclusiones a las que se llegue, tengan un rango de validez lo más amplio posible. Repetir en el tiempo y/o espacio un experimento ayuda para esto, los experimentos factoriales también son útiles para este propósito.
- e) Grado de incertidumbre: un buen experimento deber permitir calcular la probabilidad de que los resultados hayan sido obtenidos únicamente por casualidad, es decir, que debe proveer los datos suficientes y necesarios para contrastar objetivamente la hipótesis nula.

El diseño de experimentos constituye tres estructuras:

- a) Estructura de parcelas: Consiste en el agrupamiento de unidades experimentales homogéneas en grupos o bloques (Di Rienzo, 2009).
- b) Estructura de tratamientos: Está relacionado al número de factores involucrados en el experimento, sus niveles y la combinación de los mismos (Di Rienzo, 2009).
- c) Aleatorización: Se refiere a la asignación de los tratamientos a las unidades experimentales, de tal manera que todas las unidades tengan la misma probabilidad de recibir un determinado tratamiento, a través de sorteo o de la tabla de números aleatorios (López y

González, 2014). Aleatorizar los tratamientos significa eliminar y/o minimizar tendencias, errores sistemáticos y preferencias que puedan darse en la distribución de los tratamientos a las unidades experimentales (Balzarini et al., 2012; López y González, 2014).

5.4.1 Experimentos factoriales.

Los experimentos factoriales son aquellos en los que se estudia simultáneamente el efecto de dos o más factores, y donde los tratamientos se forman por la combinación de los diferentes niveles de cada uno de los factores; estos experimentos en si no constituyen un diseño experimental si no que ellos deben ser llevados en cualquiera de los diseños tal como: completamente al azar, bloques al azar, cuadrado latino, etc. (López y González, 2014).

De acuerdo a Badii, Castillo, Rodríguez, Wong y Villalpando (2007), la utilidad de los experimentos factoriales es:

- a) En trabajos de exploración, donde el objeto es determinar rápidamente los efectos de cada uno de cierto número de factores dentro de un intervalo específico.
- b) En investigaciones de las interacciones entre los efectos de varios factores. Por su naturaleza las interacciones no se pueden estudiar sin probar algunas de las combinaciones que se forman de los diferentes factores. Frecuentemente la información se obtiene mejor probando todas las combinaciones.
- c) En experimentos diseñados para poder llegar a recomendaciones que deben aplicarse a una gran variedad de condiciones. Se pueden introducir factores auxiliares en un experimento para probar los factores principales bajo una variedad de condiciones similares a las encontradas en la población a la cual se van a aplicar dichas recomendaciones.

5.4.1.1 Selección del modelo adecuado en análisis factorial.

La determinación del modelo adecuado de factores es el primer problema que debe ser resuelto en la selección del modelo factorial, éste último se refiere al problema de utilizar los datos para seleccionar un modelo a partir de un conjunto de posibles modelos; esencialmente, implica el uso de un criterio de selección de modelos para encontrar el modelo que mejor se ajusta a los datos, dicha selección puede estar basada en contrastes de hipótesis o realizar a través del uso de criterios de información (Caballero, 2011).

5.4.1.1.1 *Contraste de hipótesis.*

Se construye basado en una secuencia de tests de hipótesis, asumiendo que el conjunto de modelos candidatos ($M_i : i = 1, 2, \dots$) está ordenado, de forma que M_i es preferible a M_{i+1} , puede contrastarse una secuencia de hipótesis $H_{i0}: M_i$ “retiene el verdadero número de factores” frente a sus respectivas alternativas $H_{i1}: M_{i+1}$ “retiene el verdadero número de factores” para cada i . Una vez H_{i0} es aceptada, el procedimiento de contraste se detiene y el modelo M_i es seleccionado (Caballero, 2011).

5.4.1.1.2 *Criterios de información.*

Son criterios de selección que equilibran el ajuste del modelo y su complejidad, pueden aplicarse a modelos con parámetros estimados mediante métodos de máxima verosimilitud, no son de uso exclusivo para el análisis factorial y su aplicación se extiende a otros procedimientos donde seleccionar el modelo adecuado sea el objetivo (Caballero, 2011).

- Criterio de información Akaike

Inicialmente fue desarrollado en series temporales y posteriormente ha sido propuesto para su utilización en el análisis factorial. El AIC (Akaike

Information Criterion) es un estimador muestral de $E[\ln f(X | \theta)]$, esperanza de la log-verosimilitud, que viene dado por la expresión general:

Ecuación 1. AIC

$$AIC(k) = -2 \ln L [\hat{\theta}(k)] + 2k$$

En donde $L [\hat{\theta}(k)]$ es la función de verosimilitud de las observaciones, $\hat{\theta}(k)$ es la estimación máximo verosímil del vector de parámetros θ (en este caso, $\theta = (\mu, L, \psi)$ y k es el número de parámetros independientes estimados dentro del modelo, mientras “ln” denota al logaritmo neperiano (Caballero, 2011).

El AIC busca un balance entre la capacidad predictiva de un modelo (la varianza explicada) y la cantidad de parámetros que este debe considerar para lograr un mejor ajuste, es decir, premia a los modelos a medida que aumentan la varianza explicada, pero simultáneamente los penaliza a medida que aumentan el número de parámetros; el criterio de Akaike es de parsimonia, el mejor ajuste con el menor número de parámetros posibles (Paladino, 2017).

5.4.2 Análisis de la varianza.

El análisis de la varianza (ANOVA) es la herramienta de inferencia estadística más utilizada en las investigaciones científico-técnicas en el campo de las ciencias biológicas en general y en las agropecuarias en particular; el ANOVA es un método estadístico cuya finalidad es probar hipótesis referidas a los parámetros de posición de dos o más poblaciones en estudio (Di Rienzo, 2008) y en dependencia del número de causas conocidas de variación bloqueadas, las cuales pueden ser clasificados en: completamente aleatorizados, bloques al azar y cuadrados latinos (Fernández et al., 2008).

5.4.2.1 Análisis simple de la varianza (One-Way ANOVA).

El objetivo principal de muchos experimentos consiste en determinar el efecto que sobre alguna variable dependiente Y tienen distintos niveles de algún factor X (variable independiente y discreta). Esencialmente, el diseño para el análisis simple de la varianza consistirá en obtener muestras aleatorias e independientes del valor de Y asociado a cada uno de los distintos niveles del factor X_1, X_2, \dots, X_n . De esa manera se determina si los diferentes niveles del factor tienen un efecto significativo sobre el valor de la variable dependiente (Terrádez y Ángel, 2003).

5.4.2.2 Análisis doble de la varianza (Two-Way ANOVA).

Se usa para estudiar los posibles efectos causados por diferentes niveles de dos factores sobre la variable dependiente. Así, por ejemplo, en agricultura se está interesado en estudiar qué efectos tendrán, sobre el crecimiento de patatas, variaciones en los niveles de potasio y nitrógeno de la tierra; en medicina, en estudiar los efectos, sobre el dolor de cabeza, del medicamento y de la dosis empleados; en educación, se busca conocer qué efectos, sobre el tiempo necesario para adquirir unos conocimientos, tendrán los factores nivel de estudios y sexo, etc.; por lo tanto el ANOVA doble se usa para contrastar, para cada uno de los dos factores, la hipótesis nula de que el resultado de la variable dependiente (crecimiento de patatas, intensidad del dolor de cabeza, tiempo en adquirir conocimientos, etc.) no depende del factor (Terrádez y Ángel, 2003).

5.4.2.3 Verificación de supuestos del análisis de la varianza.

Los supuestos del análisis de la varianza se refieren a las propiedades estadísticas de los errores, usualmente se suponen normales con esperanza cero, varianza común e independientes (Di Rienzo, 2008). Si estos supuestos se satisfacen, el procedimiento del ANOVA es una prueba

exacta de la hipótesis de que no hay diferencias en las medias de los tratamientos, sin embargo, es común que en la práctica estos supuestos no se satisfagan exactamente, por consiguiente, no es prudente confiar en el ANOVA hasta haber verificado estos supuestos; las violaciones de los supuestos y la adecuación del modelo pueden investigarse con facilidad mediante el examen de los residuales (Montgomery, 2004). Se llama residuo de la observación j -ésima del tratamiento i -ésimo al predictor de ε_{ij} , que se denota por e_{ij} , y se obtiene como la diferencia entre el valor observado y el valor predicho por el modelo (Di Rienzo, 2008).

5.4.2.3.1 Normalidad.

Tomando los residuos como datos, una de las técnicas más usadas es construir un Q-Q plot normal; mediante esta técnica se obtiene un diagrama de dispersión en el que, si los residuos son normales y no hay otros defectos del modelo, entonces se alinean sobre una recta a 45° (Balzarini, 2012).

5.4.2.3.2 Independencia.

Un gráfico de los residuos en el orden temporal de la recolección de los datos es útil para detectar correlaciones entre los residuos; una tendencia a tener corridas de residuos positivos y negativos indica una correlación positiva, lo cual implica que el supuesto de independencia de los errores ha sido incumplido; se trata de un problema potencialmente serio y cuya solución es difícil, por lo que de ser posible es importante evitar el problema cuando se colecten los datos (Montgomery, 2004).

5.4.2.3.3 Homogeneidad de varianzas.

Cuando los términos de error tienen varianzas homogéneas y el modelo explica bien a los datos (es decir no queda ninguna fuente de variación sistemática que

aún se pueda remover), el gráfico de dispersión de residuos vs. predichos presentará una nube de puntos sin patrón alguno, por ello, los investigadores usan los gráficos de dispersión de residuos con patrones aleatorios como indicador de un buen ajuste del modelo a sus datos (Balzarini, 2012).

5.4.3 Prueba de comparación de medias.

Si se rechaza la hipótesis nula del ANOVA, la pregunta que sigue es ¿cuál o cuáles de las medias poblacionales en estudio son las diferentes? (Rienzo, 2008). Los métodos estadísticos son de ayuda para responder de manera eficiente a preguntas relevantes de la experimentación; tales preguntas en una buena investigación deben traducirse, antes de ver los datos, a hipótesis estadísticas para su verificación, a tales hipótesis se les llama planeadas, una vez fijadas estas preguntas, no será válido, después de ver los datos, el cambiar de parecer para decir que las preguntas de “interés” corresponden a las diferencias observadas más grandes (Domínguez y Castaño, 2010).

5.4.3.1 Prueba HSD de Tukey (*Diferencia Honestamente Significativa*).

Es aplicable sólo a datos pareados, permitiendo la comparación entre todos los pares de medias; es el procedimiento más potente y exacto para usar en estas circunstancias y permite el cálculo de intervalos de confianza (Dagnino, 2014).

El estadístico propuesto por Tukey se muestra en la ecuación 2.

Ecuación 2. Estadístico de Tukey

$$T = \frac{q(k, f, \alpha)}{\sqrt{2}} \sqrt{CM_{error} \left\{ \frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right\}}$$

Donde $q(k; f; \alpha)$ es el rango estudentizado que varía para k tratamientos, f gl para el error y α el nivel de significancia, CM_{error} , representa al estimador de la varianza del error experimental; n_i y n_j son los tamaños de muestra para cada tratamiento (Domínguez y Castaño, 2010).

Cabe destacar que cuando los tamaños muestrales son muy diferentes, esta prueba de Tukey puede dejar de ser confiable, caso en el cual podría utilizarse algún procedimiento de contraste múltiple que considere tal situación, como el de Scheffé (Balzarini, 2012).

5.4.4 Análisis no paramétrico

Los procedimientos inferenciales que no se encuentran sujetos a la forma de la distribución de la población y no requieren que las observaciones estén dadas en escala de intervalo se llaman métodos no paramétricos; estos métodos no necesitan que se especifique la forma de la distribución de la población de interés y pueden aplicarse cuando la variable respuesta es cualitativa (Lara, 2001).

5.4.4.1 Prueba de Rachas.

La prueba de Rachas, denominada prueba de una muestra de series aleatorias (Siegel y Castellan, 1995) es una prueba de independencia o de aleatoriedad que permite determinar si el número de rachas (R) observado en una determinada muestra de tamaño n es lo suficientemente grande o lo suficientemente pequeño para poder rechazar la hipótesis de independencia (o aleatoriedad) entre las observaciones; una racha es una secuencia de observaciones de un mismo atributo o cualidad, una serie de datos en los que hay muchas o pocas rachas permite concluir que estas no han ocurrido por azar (Silvente y Hurtado, 2012).

5.4.5 Análisis de componentes principales

El análisis en componentes principales es una técnica de análisis estadístico multivariante que se clasifica entre los métodos de simplificación o reducción de la dimensión y que se aplica cuando se dispone de un conjunto elevado de variables con datos cuantitativos persiguiendo obtener un menor número de variables, combinación lineal de las primitivas, que se denominan componentes principales o factores, cuya posterior interpretación permitirá un análisis más simple del problema estudiado (Pérez, 2004).

El método de componentes principales tiene por objeto transformar un conjunto de variables, a las que denominaremos variables originales interrelacionadas, en un nuevo conjunto de variables, combinación lineal de las originales, denominadas componentes principales, estas últimas se caracterizan por estar incorrelacionadas entre sí (Pérez, 2004).

5.4.5.1 Contrastes sobre el número de componentes principales a retener.

En general, el objetivo de la aplicación de las componentes principales es reducir las dimensiones de las variables originales, pasando de p variables originales a $m < p$ componentes principales. El problema que se plantea es cómo fijar m , o, dicho de otra forma, ¿qué número de componentes se deben retener? Aunque para la extracción de las componentes principales no hace falta plantear un modelo estadístico previo, algunos de los criterios para determinar cuál debe ser el número óptimo de componentes a retener requieren la formulación previa de hipótesis estadísticas (Pérez, 2004), entre ellos se encuentran:

- a) Criterio de la media aritmética.
- b) Contraste sobre las raíces características no retenidas.
- c) Prueba de Anderson.
- d) Prueba de Lebart y Fenelón.

- e) Prueba del bastón roto de Frontier.
- f) Prueba ε de Ibañez.
- g) Gráfico de sedimentación.
- h) Retención de variables.

5.4.5.2 Biplot del Análisis de Componentes Principales (ACP).

Se utiliza para situaciones de observaciones multivariadas donde todas las variables son de naturaleza cuantitativa. Se realiza un Análisis de Componentes Principales para combinar las variables en índices y luego se construyen diagramas de dispersión usando estos índices para definir los ejes. Los índices o variables sintéticas se llaman Componentes Principales (CP). Se pueden construir varios índices o combinaciones de variables. No obstante, el gráfico más difundido es el basado en las dos primeras componentes principales (CP1 y CP2) porque estas combinaciones son las que explican mejor las diferencias entre unidades de análisis. El gráfico se llama Biplot, porque en el mismo espacio (que conforman la CP1 y CP2) se representan las unidades de análisis y las variables, es decir las dos dimensiones de la tabla de datos (Balzarini, 2012).

6. Marco Metodológico

6.1 Método

La presente investigación se basa en el método de investigación experimental, que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamientos (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente); el alcance de esta investigación es explicativo, por cuanto su propósito es establecer con precisión una relación causa – efecto (Arias, 2012).

6.2 Enfoque

En esta investigación se utilizó el enfoque cuantitativo, el cual usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías; se intenta explicar y predecir los fenómenos investigados, buscando regularidades y relaciones causales entre elementos (Hernández, Fernández y Baptista, 2010).

6.3 Diseño metodológico

6.3.1 Localización.

El estudio se desarrolló en el departamento del Caquetá, municipio de Florencia, vereda La Viciosa, Centro de Investigaciones Amazónicas Macagual “César Augusto Estrada González” (CIMAZ), localizado en las coordenadas geográficas 1°30'02,3” latitud Norte y 75°39'39,9” longitud Oeste, a 260 m.s.n.m, con una humedad relativa del 84,2%, temperatura promedio de

26°C, precipitación promedio anual de 3.695 mm y un brillo solar de 4,6 horas día⁻¹ (Sánchez, Bedoya, Erazo y Suárez, 2013).

6.3.2 Material vegetal.

Se utilizó semilla de yuca variedad Quindiana, la cual se caracteriza por ser resistente a la humedad y al calor, incluso al abandono; puede durar hasta 2.5 años en la tierra; presenta una corteza externa muy rugosa y café, corteza interna y pulpa blanca; son yucas muy gruesas con una producción promedio de 15 kg planta⁻¹ (Vicaria del Sur, 2018).

6.3.3 Unidad experimental

Cada unidad experimental estuvo conformada por parcelas de terreno de 5m de ancho y 10m de largo (50m²). Para evitar encharcamientos, se realizaron caballones con una dimensión de 0,2m de alto, 0,3m de ancho y 10m de largo.

6.3.4 Diseño experimental.

Se realizó un experimento factorial 2 x 3 bajo un diseño de bloques completamente al azar con 5 repeticiones, con un efecto de borde externo de 0,5m entre tratamientos y repeticiones. Los tratamientos evaluados consistieron en la combinación de la distancia de siembra y el método de siembra para el cultivo de yuca (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos evaluados

Tratamiento	Distancia de siembra	Método de siembra	No. plantas en 50m²
T1	1m entre plantas x 1m entre surcos	Inclinado ¹	60
T2	1m entre plantas x 1m entre surcos	Horizontal ²	60
T3	0,8m entre plantas x 1,4m entre surcos	Inclinado	52
T4	0,8m entre plantas x 1,4m entre surcos	Horizontal	52
T5	1,2m entre plantas x 1,2m entre surcos	Inclinado	45
T6	1,2m entre plantas x 1,2m entre surcos	Horizontal	45

6.3.5 Características morfológicas.

Las características morfológicas se registraron a los 42 días después de la siembra (dds) tiempo que corresponde al inicio de la tuberización (Ospina y Ceballos, 2002; Aristizábal y Sánchez, 2007; Suárez y Mederos, 2011). En cada unidad experimental se seleccionaron entre 4 y 6 plantas al azar para registrar los descriptores: altura, diámetro del tallo, número de hojas, área del suelo, área foliar, peso fresco y peso seco.

6.3.5.1 Porcentaje de emergencia.

Se realizó el conteo de las plantas emergidas y no emergidas en la unidad experimental a los 14 dds (Navarro et al., 2005).

6.3.5.2 Altura de la planta.

¹ La estaca forma un ángulo de 45° con el suelo, dejando fuera del suelo una sola yema.

² La estaca se entierra a una profundidad de 0,08m del suelo en posición horizontal o acostada.

Se midió con cinta métrica desde la superficie del suelo hasta el ápice del brote más alto (Rojas et al., 2007). La medida se registró en centímetros (cm).

6.3.5.3 Diámetro del tallo.

Se midió con pie de rey a una altura de 0,03m de la superficie del suelo. La medida se registró en milímetros (mm).

6.3.5.4 Longitud de raíces.

Se midió con cinta métrica desde el cuello de la raíz hasta las raíces fibrosas más largas (Castillo y García, 2015). La medida se registró en centímetros (cm).

6.3.5.5 Número de hojas.

Se realizó el conteo de las hojas fotosintéticamente activas presentes en la planta (Rojas et al., 2007).

6.3.5.6 Área del suelo.

Se midió con una cinta métrica el eje X y Y desde el ápice de la hoja más larga en posición normal hasta el extremo. De manera horizontal se tomó la medida en X y de manera vertical se tomó la medida en Y. Esta variable se registró en cm². La ecuación utilizada para calcular el área del suelo fue:

Ecuación 3. Área del suelo

$$As = \pi \left[\left(\frac{x + y}{4} \right)^2 \right]$$

6.3.5.7 Área foliar.

Se realizó con el método de fotometría (Guerrero, Quintero y Naranjo, 2012) utilizando el software Image J. La variable se registró en cm².

6.3.5.8 *Peso fresco.*

Se registró el peso fresco de cada una de las partes de la planta: hojas, tallo y raíces en gramos (g).

6.3.5.9 *Peso seco.*

Se depositó todas las partes de la planta en bolsas de papel, estas muestras se colocaron a secar en un horno a 80°C durante 48 horas, luego de este tiempo definido, se registró el peso seco en gramos (g).

6.3.6 Características agronómicas.

Las características agronómicas se registraron a los 360 dds, tiempo que corresponde a la cosecha de la variedad Quindiana (Vicaria del Sur, 2018).

6.3.6.1 *Peso de raíces comerciales.*

Se pesaron las raíces con longitud mayor de 0,25m y un diámetro mayor a 0,05m (Medina et al., 2014). El peso se registró en kilogramos (kg).

6.3.6.2 *Peso de raíces no comerciales.*

Se pesaron las raíces con una longitud menor a 0,25m y un diámetro menor a 0,05m. El peso se registró en kilogramos (kg).

6.3.6.3 *Peso de raíces totales.*

Se totalizó el peso de raíces no comerciales y comerciales para cada una de las unidades experimentales. El peso se registró en kilogramos (kg).

6.3.6.4 *Peso de semilla.*

Se seleccionaron las plantas que presentaron mayor peso de raíces comerciales en cada de las unidades experimentales, posteriormente los tallos fueron cortados en estacas de 0,2m de longitud y se registró el peso en kilogramos (kg).

6.3.6.5 Rendimiento.

Para determinar el rendimiento, el peso registrado de las raíces totales del área de la unidad experimental se transformó a Ton ha⁻¹ (Rojas et al., 2007).

6.3.7 Análisis proximal.

6.3.7.1 Elaboración de la harina de yuca.

Para la producción de la harina de yuca se seleccionaron raíces frescas, en buenas condiciones las cuales se descascararon y fueron cortadas en pequeñas rebanadas uniformes y puestas a deshidratar en estufa a una temperatura de 80°C durante 72 horas. Las rebanadas secas fueron pulverizadas haciendo uso de un molino y tamizadas con malla de 1mm. Finalmente la harina se empaco en bolsas plásticas y se almacenó en un desecador para asegurar su buen estado (Benítez et al., 2008).

6.3.7.2 Composición proximal.

Se realizó un análisis físico-químico de la harina de yuca en el laboratorio de suelos de la Universidad de la Amazonía. Para humedad, se realizaron cinco determinaciones, para los demás parámetros, se realizaron tres determinaciones.

6.3.7.2.1 Humedad.

Se rotulo y peso cada una de las cajas de petri y se registró su peso, luego se peso 5g de harina en cada caja de petri, se llevó la muestra a secado en el horno secador durante 3 horas a temperatura de 105 °C, se retiró una de las muestras y

se llevó al desecador durante 30 minutos. Después se pesó y se realizó el mismo procedimiento con las demás muestras hasta obtener peso constante (Acuña, 2012). Finalmente se registró el peso constante de la caja de petri con la muestra seca. El porcentaje de humedad se calculó con la ecuación 4 (Bernal, 1993):

Ecuación 4. Contenido de humedad

$$\% \text{ Humedad} = \left(\frac{\text{peso muestra húmeda} - \text{peso muestra seca}}{\text{peso muestra húmeda} - \text{peso recipiente}} \right) * 100$$

6.3.7.2.2 Proteína cruda.

Se inició pesando 0,5g de harina seca, se colocó la muestra en el tubo de digestión., se adicione 5g de catalizador y 15 ml de ácido sulfúrico. Luego se llevó a digestión por 3 horas, hasta que la muestra tuvo un color verde intenso, se enfrió hasta que alcanzo temperatura ambiente, se diluyo la muestra y destilo agregando hidróxido de sodio en exceso. Se recogió el amoniaco producido en 30 ml de solución de ácido bórico (H_3BO_3) hasta completar 200 ml de solución. Finalmente se tituló esta solución con ácido clorhídrico hasta el viraje del indicador de Taschiro (Acuña, 2012). El contenido de proteína se calculó con la ecuación 5 (Bernal, 1993):

Ecuación 5. Contenido de proteína

$$\% \text{ Proteína} = 1,4 \left(\frac{\text{volumen gastado HCl} * \text{Normalidad HCl} * 6,5}{\text{peso muestra seca}} \right)$$

6.3.7.2.3 Ceniza.

Se pesó cada uno de los crisoles de porcelana, posteriormente se pesó 1g de harina y se llevó la muestra a secado en la mufla durante 2 horas a temperatura de 550°C. Después se apagó la mufla, se dejaron las muestras por 3 horas y finalmente se registró el peso del material calcinado en cada crisol (Acuña, 2012). Para determinar el porcentaje de ceniza, se aplicó la ecuación 6 (Bernal, 1993):

Ecuación 6. Contenido de ceniza

$$\% \text{ Cenizas} = \left(\frac{\text{peso crisol con peso muestra calcinada} - \text{peso crisol}}{\text{peso crisol con peso muestra seca} - \text{peso crisol}} \right) * 100$$

6.3.7.2.4 Grasa.

Se lavaron, pesaron y rotularon los crisoles de 100 ml, luego se pesaron 2g de harina seca y se agregaron 10ml de éter. Se trituroó en un mortero hasta que el material quedó desintegrado. Luego se agregaron 10ml de éter y se trituroó nuevamente, se filtró y este mismo procedimiento se realizó hasta completar 80ml. Finalmente, se colocaron en la plancha de secado hasta que el líquido se evaporó, los residuos que quedaron se pesaron y la diferencia de peso fue el contenido de grasa (Acuña, 2012). Este resultado se dio a través de la ecuación 7 (Bernal, 1993):

Ecuación 7. Contenido de grasa

$$\% \text{ Grasa} = \left(\frac{\text{peso crisol con muestra desengrasada} - \text{peso crisol}}{\text{peso muestra seca}} \right) * 100$$

6.4 Diseño estadístico

6.4.1 Imputación de datos.

Para las variables de producción y rendimiento se imputaron cuatro datos, correspondientes a las unidades experimentales de los tratamientos T1 – Bloque 3, T4 – Bloque 1, T5 – Bloque 3 y T6 – Bloque 5, debido a que no se encontraron plantas al final del experimento para evaluar estas variables. La técnica utilizada para la imputación de datos fue mediana de vecinos cercanos (Medina y Galván, 2007). De acuerdo a Castro y Ávila (2006), esta técnica consiste en identificar la distancia entre la variable a imputar y, y cada una de las unidades restantes (x o variables auxiliares) mediante alguna medida de distancia, entonces se determina la unidad más cercana a y, usando el valor de esta unidad cercana para imputar el faltante.

6.4.2 Exploración de modelos lineales y criterio de selección.

Para cada una de las variables de crecimiento, producción, rendimiento y composición proximal, se exploró modelos lineales considerando el efecto individual de cada uno de los factores en estudio (distancia de siembra - método de siembra) y su interacción (distancia de siembra * método de siembra). Se seleccionó el modelo factorial que presentó el valor más bajo de AIC (Caballero, 2011), pues indica un buen compromiso entre la capacidad predictiva del modelo (varianza explicada) y la cantidad de parámetros (Paladino, 2017).

6.4.3 Análisis de la varianza de la distancia de siembra y método de siembra

Se ajustó un modelo lineal (lm) para los factores: distancia de siembra, método de siembra y su interacción para las variables: rendimiento, peso de raíces comerciales y no comerciales, grasa y cenizas (Adaptado de Montgomery, 2004; Sánchez y Erazo, 2012).

Ecuación 8. Modelo lineal con interacción

$$Y_{ijk} = u + B_i + D_j + M_k + (D * M)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Respuesta atribuida a 3 distancias de siembra, 2 métodos de siembra y su interacción, distribuidos en 5 bloques sobre la variable respuesta.

u = media general de la variable respuesta.

B_i = efecto atribuido a los 5 bloques.

D_j = efecto atribuido a las 3 distancias de siembra.

M_k = efecto atribuido a los 2 métodos de siembra.

$D*M_{jk}$ = efecto atribuido a la interacción entre 3 distancias de siembra y 2 métodos de siembra.

E_{ijk} = término de error aleatorio.

Para las variables: porcentaje de emergencia, peso de semilla, contenido de humedad y proteína cruda, se ajustó el modelo lineal (lm) para los factores: distancia de siembra y método de siembra (Adaptado de Montgomery, 2004).

Ecuación 9. Modelo lineal sin interacción

$$Y_{ijk} = u + B_i + D_j + M_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Respuesta atribuida a 3 distancias de siembra y 2 métodos de siembra, distribuidos en 5 bloques sobre la variable respuesta.

u = media general de la variable respuesta.

B_i = efecto atribuido a los 5 bloques.

D_j = efecto atribuido a las 3 distancias de siembra.

M_k = efecto atribuido a los 2 métodos de siembra.

E_{ijk} = término de error aleatorio.

6.4.4 Evaluación de los supuestos del modelo

Para comprobar si los supuestos en el modelo se cumplen de manera adecuada, el análisis de residuales se realizó por medio de gráficas ad hoc (Domínguez y Castaño, 2010), a partir de la independencia de los errores (residuals-plot), residuos normalmente distribuidos (QQ-Plot, test de Shapiro-Wilk) y varianzas homogéneas para todas las observaciones (Fitted-plot) y cada una de las variables en estudio (Sterling, 2017).

6.4.5 Comparación múltiple de medias

Para la comparación de medias de tratamientos se utilizó la prueba de Tukey HSD con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

6.4.6 Análisis de componentes principales

Para las variables de composición proximal: contenido de proteína cruda, cenizas y grasa, se imputó doce datos debido a que solo se realizaron tres determinaciones por tratamiento; la técnica utilizada para la imputación de datos fue mediana de vecinos cercanos y promedios (Medina y Galván, 2007). El análisis de componentes principales se realizó sobre la matriz de correlaciones (estandarización de los datos) con gráfico biplot (círculo de correlación) para

establecer relaciones multivariadas entre las distancias y métodos de siembra con las características morfológicas, agronómicas y composición proximal.

6.4.7 Software estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron en RStudio versión 1.2.1335 para R versión 3.6.1 (R Core Team, 2018). Se utilizaron los paquetes *Agricolae*, *FactoExtra* y *FactoMineR*.

7. Análisis y resultados

7.1 Verificación de supuestos del ANOVA

7.1.1 Normalidad

En la verificación del supuesto de normalidad para las características morfológicas, agronómicas y composición proximal, se evidenció que las observaciones se aproximan a una línea recta (Figura 4) y de esta manera se admite que los datos son normales, aunque conviene tener en cuenta que siempre tenderá a observarse una mayor desviación en los extremos (Pierre y Varela, 2006), donde los valores por encima de la recta que se encuentran en la esquina superior derecha, son residuales con valores positivos mayores al esperado para la distribución normal estándar; mientras que la serie de valores por encima de la recta de la esquina inferior izquierda, son residuales con valores negativos menores que el esperado (Kuehl, 2001).

Cuando se trabaja con muestras pequeñas, suelen ocurrir fluctuaciones significativas, por lo que la aparición de una desviación moderada de la normalidad no implica necesariamente una violación seria del supuesto (Montgomery, 2004), situación que se evidenció en la composición proximal: contenido de ceniza, grasa y proteína cruda, ya que las determinaciones se realizaron en tres réplicas por tratamiento.

Sin embargo, para las características agronómicas: peso de semilla, peso de raíces comerciales y rendimiento, se evidenció una desviación marcada de la distribución normal, por lo que se hace necesario efectuar el contraste de normalidad Shapiro – Wilk, dado que el método gráfico presenta un importante grado de subjetividad (Pierre y Varela, 2006).

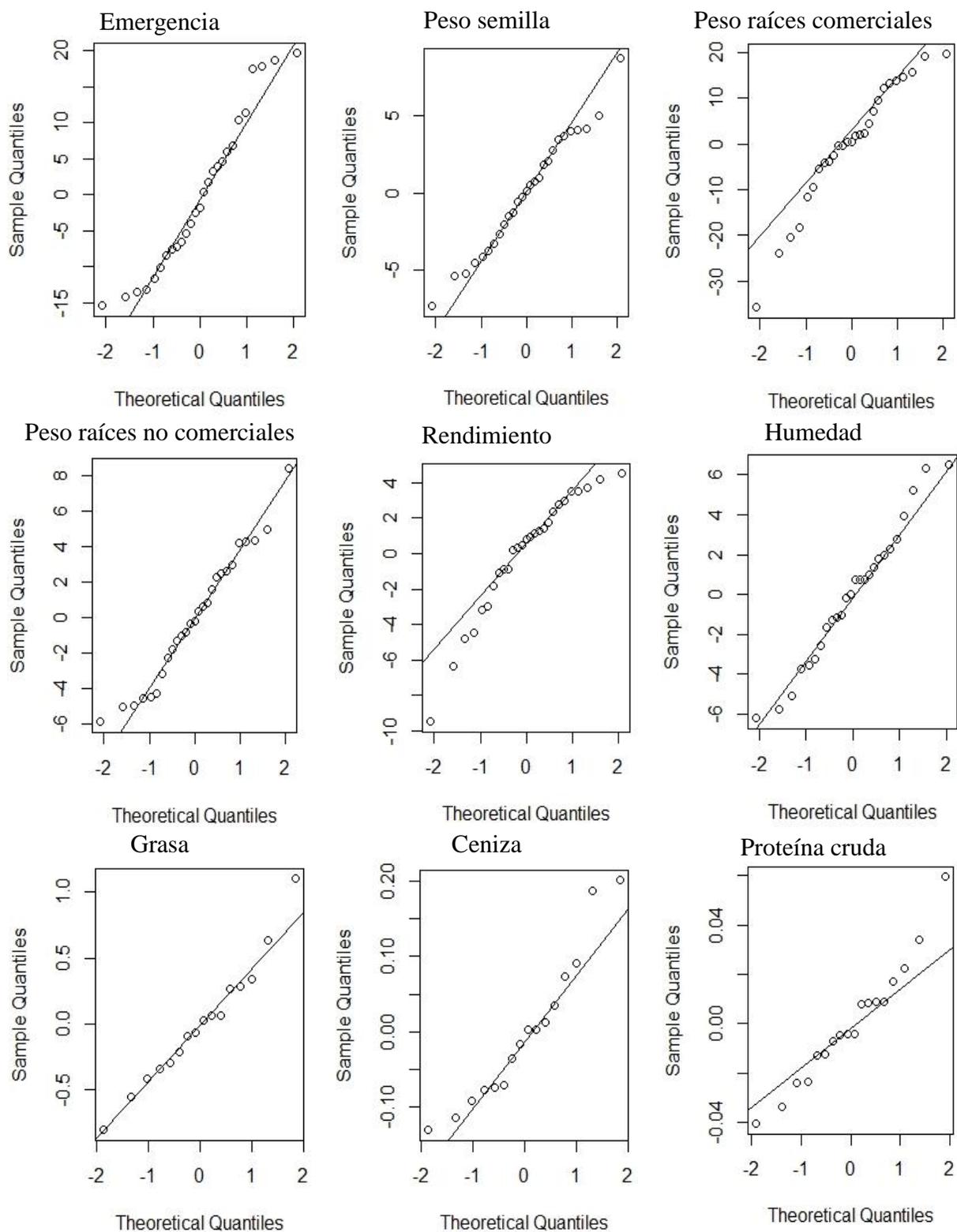


Figura 4. Validación gráfica del supuesto de normalidad para los residuales de las características morfológicas, agronómicas y composición proximal.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba de Shapiro – Wilk para los residuales de las características morfológicas, agronómicas y composición proximal (Tabla 2), se evidencia que el p-valor es mayor al valor α (0,05), lo que implica el no rechazo de la hipótesis nula (H_0), donde los residuales se ajustan a una distribución normal. No obstante, para la característica agronómica de rendimiento, el p-valor obtenido en la prueba de Shapiro – Wilk fue igual al valor α (0,05), de forma que se rechazaría la hipótesis nula de normalidad cuando el ajuste sea malo, situación que se corresponde con valores pequeños del estadístico de la prueba (Pierre y Varela, 2006).

Tabla 2. Prueba de Shapiro – Wilk para los residuales de las características morfológicas, agronómicas y composición proximal.

	Característica	W	p-value
Morfológica	Emergencia (%)	0,9406	0,1261
	Peso semilla (kg)	0,9834	0,9304
Agronómica	Peso raíces comerciales (kg)	0,9563	0,3028
	Peso raíces no comerciales (kg)	0,9680	0,5518
	Rendimiento (Ton ha ⁻¹)	0,9243	0,0503
	Humedad (%)	0,9771	0,8073
Proximal	Grasa (%)	0,9742	0,9010
	Ceniza (%)	0,9262	0,2121
	Proteína cruda (%)	0,9675	0,7487

7.1.2 Homogeneidad de varianzas

En la Figura 5 se presenta la validación gráfica del supuesto de homogeneidad de varianzas para las características morfológicas, agronómicas y composición proximal, donde los residuales se encuentran sin estructura, es decir, que no están relacionados con ninguna otra variable, incluyendo la respuesta predicha (Montgomery, 2004), lo que indica un buen ajuste del modelo a los datos (Balzarini, 2012).

Aun cuando en el contenido de proteína cruda se observa una posible falta de homogeneidad en las varianzas, es de aclarar que la heterogeneidad de varianzas se pone de manifiesto cuando a medida que crecen los valores predichos por el modelo, aumentan las dispersiones de los residuos (Balzarini, 2012).

7.1.3 Independencia

En la validación del supuesto de independencia para las características evaluadas se detectó un patrón aleatorio en los residuos (Figura 6), lo que indica el cumplimiento de este supuesto. No se evidenciaron secuencias de varios valores positivos seguidos de varios valores negativos ni una sucesión alternante de residuales positivos y negativos, ya que estos son indicios claros de la falta de independencia (Balzarini, 2012).

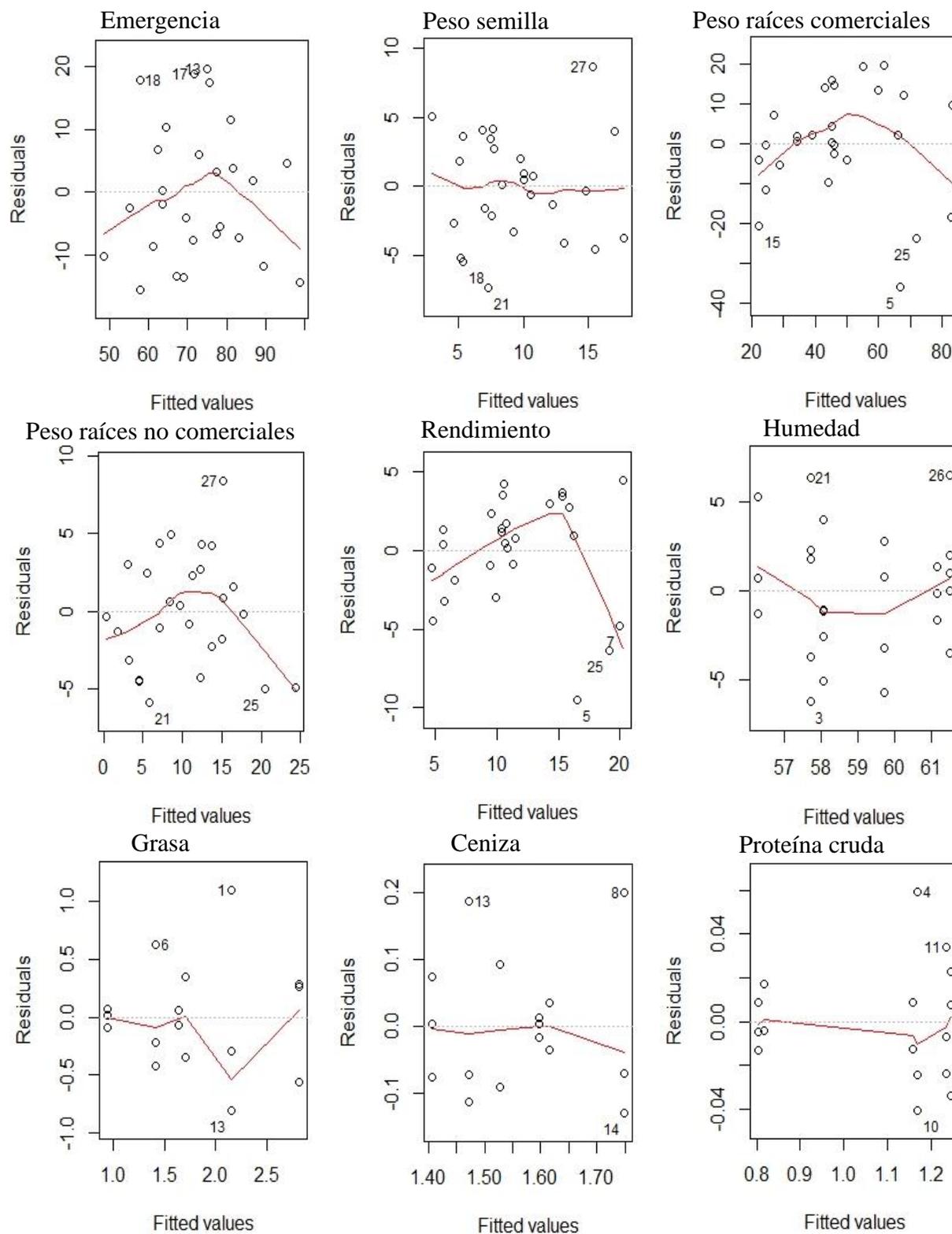


Figura 5. Validación gráfica del supuesto de homogeneidad de varianzas para los residuales de las características morfológicas, agronómicas y composición proximal.

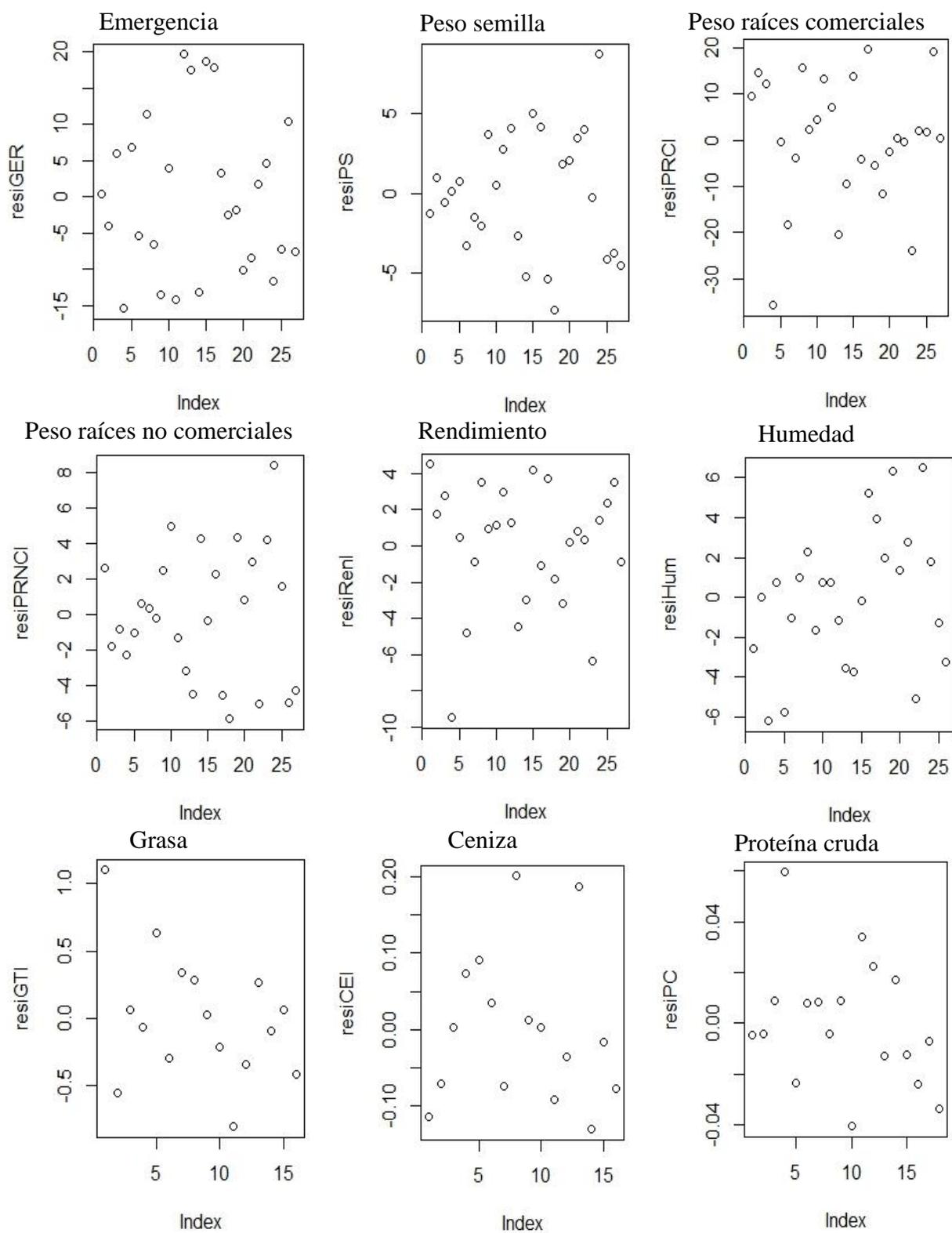


Figura 6. Validación gráfica del supuesto de independencia para los residuales de las características morfológicas, agronómicas y composición proximal.

7.2 Identificación de interacciones entre distancia de siembra y método de siembra

7.2.1 Características morfológicas y agronómicas

Las características agronómicas: peso de raíces no comerciales y rendimiento, presentaron diferencias significativas para la interacción entre distancia y método de siembra (p-valor < 0,05). Por otro lado, el peso de raíces comerciales y porcentaje de emergencia fue significativo para el método de siembra (p-valor < 0,05), sin embargo, el peso de semilla presentó diferencias significativas con respecto al bloque (p-valor < 0,05), por consiguiente, no hubo un efecto significativo de la distancia de siembra en las características morfológicas y agronómicas (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de varianza de los efectos bloque (B), distancia de siembra (D), método de siembra (M), y sus interacciones (D*M), para las características morfológicas y agronómicas.

Característica	B	D	M	D*M
Emergencia (%)	0,0328*	0,2380	0,0112*	-----
Peso semilla (kg)	0,0103*	0,5271	0,2137	-----
Peso raíces comerciales (kg)	0,1897	0,0743.	0,0170*	0,0627.
Peso raíces no comerciales (kg)	0,0038**	0,6741	0,0054**	0,0190*
Rendimiento (Ton ha ⁻¹)	0,0883.	0,1597	0,0369*	0,0139*

0 '****' 0.001 '***' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

El rendimiento varió de manera significativa entre las distancias y métodos de siembra evaluados, se destaca T1 con media de 17,80 Ton ha⁻¹, seguido de T5 y T4 con 14,01 y 12,17 Ton ha⁻¹, respectivamente. En relación al peso de raíces no comerciales se observaron diferencias significativas entre T5 y T6, siendo T6 el de menor peso (6,40 kg) (Tabla 4).

Tabla 4. Prueba de Tukey para el peso de raíces no comerciales y rendimiento de acuerdo a la distancia y método de siembra.

Tratamiento	Distancia de siembra	Método de siembra	Peso raíces no comerciales (kg)	Rendimiento (Ton ha⁻¹)
T1	1m x 1m	Inclinado	13,5000 ± 1,6329 ³ ab	17,8000 ± 4,5678 a
T2		Horizontal	7,9000 ± 8,2643ab	8,4500 ± 3,2398 b
T3	0,8m x 1,4m	Inclinado	8,1250 ± 11,0933 ab	8,2400 ± 6,3386 b
T4		Horizontal	10,5333 ± 6,6116 ab	12,1777 ± 5,9546 ab
T5	1,2m x 1,2m	Inclinado	17,4375 ± 1,5051 a	14,0100 ± 4,6295 ab
T6		Horizontal	6,4000 ± 3,8470 b	8,1580 ± 3,3793 b

Medias seguidas de diferentes letras en columnas son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$).

La tendencia a producir mayor peso de raíces comerciales fue en el método de siembra inclinado con media de 53,86 kg de raíces comerciales. Por otra parte, el método de siembra horizontal, favoreció significativamente el porcentaje de emergencia a comparación del método inclinado (79,80 y 64,57%, respectivamente) (Tabla 5).

³ Desviación estándar

Tabla 5. Prueba de Tukey para el porcentaje de emergencia y peso de raíces comerciales de acuerdo al método de siembra.

Método de siembra	Emergencia (%)	Peso raíces comerciales (kg)
Inclinado	64,5778 ± 16,4821 b	53,8666 ± 25,2399 a
Horizontal	79,8078 ± 12,6739 a	39,5375 ± 16,1726 b

Medias seguidas de diferentes letras en columnas son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$).

El peso de semilla presentó diferencias significativas entre el Bloque 5 y 3, siendo el Bloque 3 donde se obtuvo el menor peso de semilla con una media de 5,46 kg. No obstante, el peso de raíces no comerciales fue mayor en los Bloques 5, 1 y 2 con media de 17,08; 12,72 y 10,33 respectivamente. El porcentaje de emergencia no mostró variaciones significativas entre los bloques, sin embargo, el mayor porcentaje de emergencia se presentó en el Bloque 4 (88,20%) (Tabla 6).

Tabla 6. Prueba de Tukey para el porcentaje de emergencia, peso de semilla y peso de raíces no comerciales, de acuerdo al bloque.

Bloque	Emergencia (%)	Peso semilla (kg)	Peso raíces no comerciales (kg)
1	60,1442 ± 24,3481 b	10,4000 ± 1,1937 ab	12,7222 ± 2,5294 ab
2	75,5344 ± 9,3885 ab	7,8333 ± 2,4426 ab	10,3333 ± 3,9707 ab
3	67,2805 ± 16,7102 ab	5,4666 ± 5,4577 b	5,1250 ± 7,8162 b
4	88,2059 ± 8,5596 a	7,4250 ± 5,3952 ab	7,8333 ± 6,9041 b
5	69,7209 ± 13,3722 ab	15,5833 ± 5,8001 a	17,0833 ± 5,1712 a

Medias seguidas de diferentes letras en columnas son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$).

De acuerdo a Aguilar et al., (2016) la posición de siembra inclinada facilita el arranque y hay una disminución del porcentaje de yucas dañadas durante la cosecha, en cambio, la posición horizontal genera una mayor cantidad de brotes en la semilla. En cuanto a la distancia de siembra, Navarro et al., (2005) reporta que no influye en las características morfológicas y agronómicas.

7.2.2 Composición proximal

Se encontró diferencias significativas en el contenido de ceniza para la interacción entre distancia y método de siembra (p-valor < 0,05), en contraste con el contenido de grasa y humedad que fue significativo para el método de siembra (p-valor < 0,05). Por otra parte, el contenido de proteína cruda es la única característica que presentó diferencias significativas con respecto a la distancia de siembra (p-valor < 0,05) (Tabla 7).

*Tabla 7. Análisis de varianza de los efectos distancia de siembra (D), método de siembra (M), y sus interacciones (D*M), para la composición proximal de harina de yuca en base seca.*

Característica	D	M	D*M
Humedad (%)	0,5963	0,0263*	-----
Grasa (%)	0,4113	0,0092**	0,0754.
Ceniza (%)	0,3252	0,3931	0,0228*
Proteína cruda (%)	2,41e-13***	0,3530	-----

0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

El contenido de cenizas mostró diferencias significativas entre T2 y T4, siendo T4 donde se obtuvo el menor contenido de ceniza con media de 1,40%; aunque no hubo diferencias significativas entre T2 y los demás tratamientos, se puede inferir que T2 presenta el mayor contenido de ceniza (1,74%), seguido de T6 (1,61%) (Tabla 8).

Tabla 8. Prueba de Tukey para el contenido de cenizas de acuerdo a la distancia y método de siembra.

Tratamiento	Distancia de siembra	Método de siembra	Cenizas (%)
1	1m x 1m	Inclinado	1,4732 ± 0,1632 ab
2		Horizontal	1,7498 ± 0,1758 a
3	0,8m x 1,4m	Inclinado	1,5970 ± 0,0147 ab
4		Horizontal	1,4066 ± 0,0750 b
5	1,2m x 1,2m	Inclinado	1,5284 ± 0,1294 ab
6		Horizontal	1,6149 ± 0,0498 ab

Medias seguidas de diferentes letras en columnas son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$).

Los métodos de siembra evaluados mostraron diferencias significativas entre ellos, no obstante, las mayores medias fueron para el método de siembra horizontal e inclinado, en el contenido de humedad y grasa, respectivamente, con una media de 60,83 y 2,27% (Tabla 9).

Tabla 9. Prueba de Tukey para el contenido de humedad y grasa de acuerdo al método de siembra.

Método de siembra	Humedad (%)	Grasa (%)
Inclinado	57,4214 ± 3,6004 b	2,2763 ± 0,7719 a
Horizontal	60,8333 ± 3,6013 a	1,3086 ± 0,4794 b

Medias seguidas de diferentes letras en columnas son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$).

El contenido de proteína cruda varió de manera significativa con respecto a la distancia de siembra, donde se destaca la distancia de 1,2m x 1,2m con media de 1,24%, seguido por la distancia de 0,8m x 1,4m con 1,16% (Tabla 10).

Tabla 10. Prueba de Tukey para el contenido de proteína cruda de acuerdo a la distancia de siembra.

Distancia de siembra	Proteína cruda (%)
1m x 1m	0,8097 ± 0,0142 c
0,8m x 1,4m	1,1631 ± 0,0351 b
1,2m x 1,2m	1,2409 ± 0,0269 a

Medias seguidas de diferentes letras en columnas son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$).

Medina et al., (2017) indican que los altos niveles en la composición proximal se asocian a cosechas muy tempranas, por lo que los factores evaluados no inciden en su expresión.

7.3 Relación entre características morfológicas, agronómicas y composición proximal.

El análisis de componentes principales (ACP) realizado sobre la matriz de correlación de 18 características estudiadas (Tabla 11), explicó el 74,28% de la variabilidad con los cuatro primeros componentes (Tabla 12).

Tabla 11. Características morfológicas, agronómicas y proximales utilizadas en el ACP.

Morfológicas	Agronómicas	Proximales
Emergencia (%E)	Peso semilla (PSE)	Humedad (%H)
Altura (ALT)	Peso raíces comerciales	
Diámetro del tallo (DT)	(PRC)	
Longitud de raíces (LR)	Peso raíces no comerciales	Grasa (%G)
Hojas (NH)	(PRNC)	
Área del suelo (AS)		Ceniza (%C)
Área foliar (AF)	Peso de raíces totales	
Peso fresco (PF)	(PRT)	
Peso seco (PS)	Rendimiento (REN)	Proteína cruda (%P)

En la Figura 7 se presentan los porcentajes de varianza explicado en orden decreciente y es posible detectar que a partir de la cuarta componente la diferencia en los porcentajes es baja, lo que significa que las diferencias entre los demás componentes no son significativas, por lo que se decide tomar los cuatro primeros componentes para representar la totalidad de la información (Aristizábal, 2017; Pérez, 2004).

Tabla 12. Autovalores y porcentaje de variabilidad explicado en cada uno de los componentes para las características morfológicas, agronómicas y composición proximal en relación con la distancia y método de siembra en el cultivo de yuca.

Componente	Valor propio	Porcentaje de varianza	Porcentaje acumulado de varianza
1	5,57	30,97	30,97
2	3,44	19,14	50,11
3	2,70	14,98	65,09
4	1,65	9,19	74,28
5	1,38	7,69	81,96
6	0,82	4,57	86,54
7	0,61	3,40	89,94
8	0,52	2,88	92,82
9	0,40	2,22	95,03
10	0,25	1,41	96,44
11	0,19	1,08	97,52
12	0,17	0,92	98,44
13	0,12	0,64	99,09
14	0,08	0,45	99,54
15	0,07	0,40	99,93
16	0,01	0,07	100,00
17	0,00	0,00	100,00
18	0,00	0,00	100,00

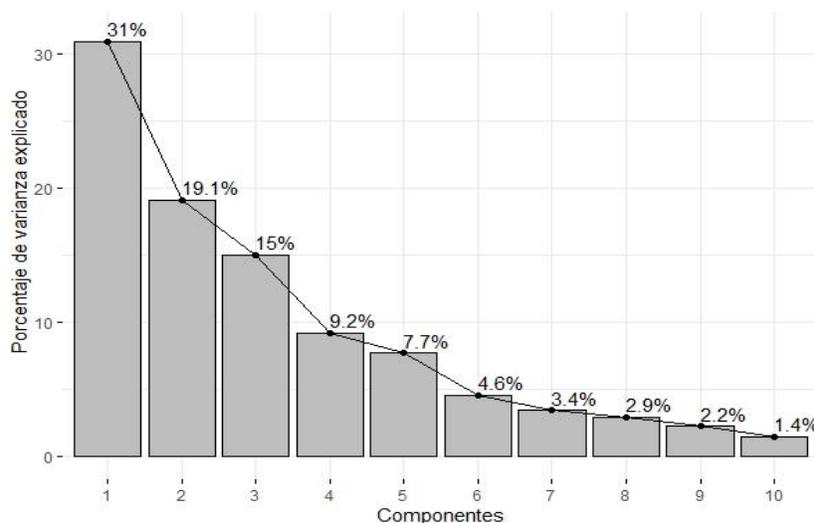


Figura 7. Porcentaje de variabilidad explicado en los primeros diez componentes para las características morfológicas, agronómicas y composición proximal en relación con la distancia y método de siembra en el cultivo de yuca.

Con respecto a los coeficientes de correlación, las características de AS, AF, PF y PRC son aquellas que se correlacionan positivamente en el componente 1, por otro lado, %P, %C y %G, correspondiente a características proximales, se correlacionan negativamente en este mismo componente (Tabla 13).

En cuanto a la calidad de representación que tiene cada una de las características en los primeros cuatro componentes, los valores próximos a 1,0 indica que la característica se encuentra muy bien representada en el correspondiente componente, como lo es para ALT, DT, PRNC, PRT y REN en el componente 2; sin embargo, es de resaltar que %H y %C son las características con menor calidad de representación en los componentes 1, 2 y 4, logrando su mayor representación en el componente 3 (0,17 y 0,13 respectivamente) (Tabla 13).

Tabla 13. Coeficientes de correlación, calidad de representación y contribución de cada una de las características evaluadas en los primeros cuatro componentes.

	Coeficiente de correlación				Calidad de representación				Contribución			
	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4
%E	0.22	0.13	-0.75	0.17	0.05	0.02	0.56	0.03	0.89	0.47	20.76	1.74
ALT	0.56	-0.68	0.33	-0.06	0.31	0.46	0.11	0.00	5.53	13.44	3.94	0.22
DT	0.11	-0.64	0.65	0.01	0.01	0.42	0.42	0.00	0.23	12.06	15.59	0.00
LR	0.54	0.05	-0.68	-0.11	0.29	0.00	0.47	0.01	5.16	0.07	17.39	0.75
NH	0.67	-0.36	-0.48	-0.02	0.46	0.13	0.23	0.00	8.16	3.83	8.47	0.02
AS	0.86	-0.37	-0.10	-0.05	0.73	0.14	0.01	0.00	13.13	4.02	0.39	0.16
AF	0.84	-0.26	-0.06	0.08	0.70	0.07	0.00	0.01	12.62	2.00	0.15	0.38
PF	0.83	-0.40	0.11	0.04	0.69	0.16	0.01	0.00	12.45	4.70	0.43	0.11
PS	0.61	-0.31	0.53	0.17	0.37	0.09	0.28	0.03	6.60	2.72	10.45	1.71
PSE	0.40	0.37	0.19	0.61	0.16	0.14	0.04	0.38	2.85	3.93	1.40	22.71
PRC	0.71	0.59	0.12	-0.17	0.50	0.35	0.01	0.03	8.97	10.06	0.55	1.80
PRNC	0.41	0.68	0.26	0.29	0.17	0.47	0.07	0.08	3.00	13.51	2.49	5.08
PRT	0.70	0.65	0.16	-0.09	0.49	0.43	0.03	0.01	8.80	12.34	0.94	0.51
REN	0.70	0.65	0.16	-0.09	0.49	0.43	0.03	0.01	8.80	12.34	0.94	0.51
%H	0.10	-0.08	-0.41	0.14	0.01	0.01	0.17	0.02	0.16	0.18	6.36	1.25
%G	-0.13	0.24	0.36	-0.57	0.02	0.06	0.13	0.32	0.28	1.68	4.86	19.54
%C	-0.22	0.26	0.36	0.28	0.05	0.07	0.13	0.08	0.89	2.03	4.89	4.69
%P	-0.29	-0.14	-0.02	0.80	0.08	0.02	0.00	0.64	1.47	0.61	0.01	38.81

Con relación a la contribución de las características en la construcción de los componentes, %E, DT, LR y PS son las que contribuyen en mayor proporción al componente 3; en cuanto al componente 4 lo hacen las características %P, PSE y %G, respectivamente (Tabla 13).

El primer componente principal (CP1) explicó el 30,97% de la variabilidad y separó AS, AF, PF, PS, ALT, DT y NH del resto de las características, por tanto, la mayor variabilidad entre los tratamientos se explica con las características morfológicas, siendo T4 el tratamiento que se asocia en mayor proporción a estas características (Figura 8).

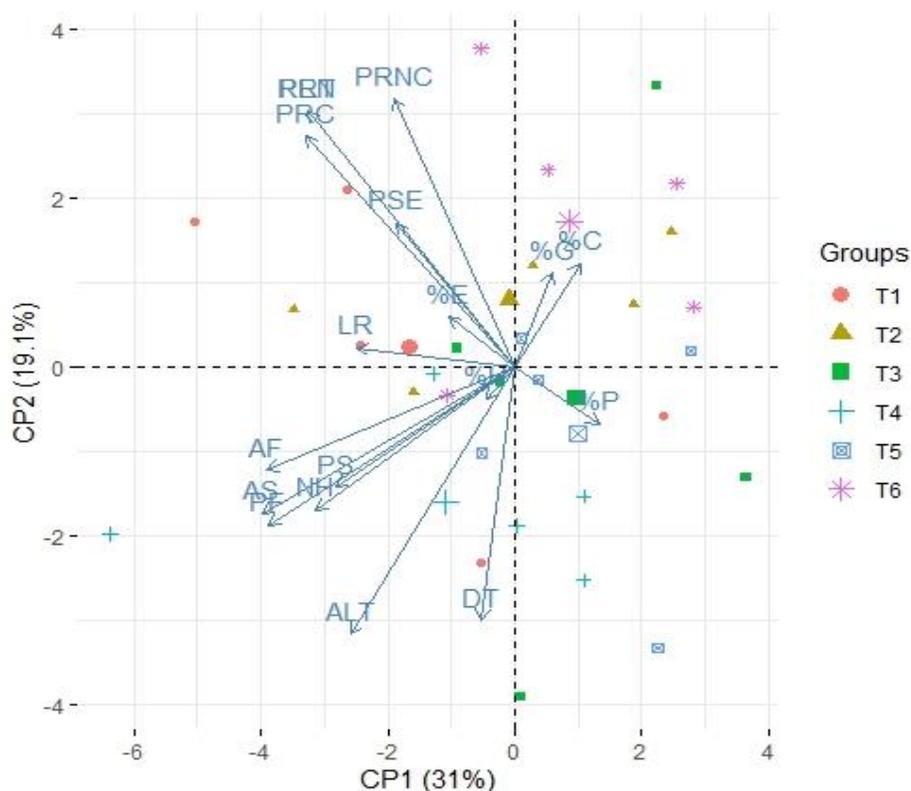


Figura 8. Biplot del ACP de los efectos entre las características morfológicas, agronómicas y composición proximal con la distancia y método de siembra en el cultivo de yuca.

El segundo componente principal está asociado a las características agronómicas, y se puede identificar el efecto de tratamientos con cualidades distintivas, como es el caso de T1 y T2, que

corresponde a la misma distancia de siembra (1m x 1m) pero a diferente método de siembra (inclinado y horizontal, respectivamente) (Figura 8).

Es de resaltar que T3 y T5 están asociados a los mayores contenidos de proteína cruda, a su vez, T6, lo está con el contenido de grasa y ceniza, lo cual permite inferir que son tratamientos con un alto potencial para uso industrial y alimenticio de la harina de yuca.

8. Conclusiones y recomendaciones

- El método de siembra favoreció significativamente el porcentaje de emergencia, el contenido de humedad y grasa, además de la producción de raíces comerciales, relacionada esta última característica, con el rendimiento.
- La distancia de siembra no presentó un efecto significativo sobre las características morfológicas y agronómicas; sin embargo, este factor sí influyó sobre el contenido de proteína cruda, característica relevante en la producción de harina refinada de yuca con fines industriales.
- No existió diferencia estadística significativa en el peso de la semilla, bajo ninguno de los factores evaluados, evidenciando que sobre esta característica no tiene influencia la distancia y el método de siembra que se utilice.
- El análisis de componentes principales permitió diferenciar los tratamientos evaluados, siendo T1 (1m x 1m – inclinado) y T2 (1m x 1m – horizontal), quienes obtuvieron la mayor expresión en cuanto a las características agronómicas, bajo las condiciones agroclimáticas del municipio de Florencia - Caquetá.
- Se recomienda en estudios posteriores, evaluar otros descriptores para la raíz y parámetros relacionados con la cosecha, a su vez, que se incluyan descriptores cualitativos, que permitan utilizar otras técnicas de análisis multivariado.

9. Referencias bibliográficas

Acuña, H. (2012). *Extracción, caracterización y aplicación de almidón de ñame variedad blanco (Dioscorea trifida) originario de la región amazónica colombiana para la elaboración de productos horneados* (Tesis de especialización, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia). Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/9785/1/107519.2012.pdf>

Aguilar, E.; Segreda, A.; Saborío, D.; Morales, J.; Chacón, M.; Rodríguez, L.; Acuña, P.; Torres, S. y Gómez, Y. (2016). *El cultivo de la yuca (Manihot esculenta Crantz) en Costa Rica*. San José, Costa Rica: INTA.

Aguilera, M. (2012). *La yuca en el Caribe colombiano: de cultivo ancestral a agroindustrial. Documentos de trabajo sobre economía regional y urbana*. Cartagena, Colombia: Banco de la República.

Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación: introducción a la metodología científica*. Caracas, Venezuela: Episteme.

Arismendi, L. (2001). *Investigación sobre el cultivo de la yuca (Manihot esculenta esculenta Crantz.) en el Oriente de Venezuela. Revista científica UDO Agrícola*, 1(1), p. 1-10.

Aristizábal, J.; Sánchez, T. y Lorío, D. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Aristizábal, D. (2017). *Análisis multivariado: tópicos especiales*. Bogotá, Colombia: Fundación Universitaria Los Libertadores.

Armas, F. (s.f). *Instructivo técnico de la yuca*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/INGPAKOWPN/instructivo-tecnico-del-cultivo-de-la-yuca-msc-ing-francisco-martin-armas>

Badii, M.; Rodríguez, M.; Wong, A. y Villalpando, P. (2017). Diseños experimentales e investigación científica. *Innovaciones de Negocios*, 4(8), p. 283 – 330.

Balzarini, M.; Di Rienzo, J.; Tablada, M.; González, L.; Bruno, C.; Córdoba, M.; Robledo, W. y Casanoves, F. (2012). *Introducción a la bioestadística: aplicaciones con InfoStat en agronomía*. Buenos Aires, Argentina: Brujas.

Barrera V.; Tapia C.; Monteros A. (2004), *Raíces y tubérculos andinos: alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador*. Quito, Ecuador: INIAP.

Bautista, R. (2003). *Técnicas de manejo e importancia del cultivo de la yuca (Manihot esculenta Crantz) en México* (Tesis de pregrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila, México). Recuperado de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/1274>

Bedoya, C. (2016). *Metodologías para el análisis bromatológico, físico y químico del cacao fermentado y seco, dentro del marco normativo internacional* (Tesis de pregrado, Corporación Universitaria Lasallista, Caldas, Colombia). Recuperado de <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/2064>

Benítez, B., Archile, A., Rangel, L., Ferrer, K., Márquez, E., y Barboza, Y. (2008). Composición proximal, evaluación microbiológica y sensorial de una galleta formulada a base de harina de yuca y plasma de bovino. *Interciencia*, 33(1), p. 61-65.

- Bernal, I. (1993). *Análisis de alimentos*. Bogotá, Colombia: Guadalupe Ltda.
- Caballero, F. (2011). *Selección de modelos mediante criterios de información en análisis factorial: aspectos teóricos y computacionales* (Tesis doctoral, Universidad de Granada, Granada, España). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10481/19428>
- Castillo, S. y García, J. (2015). *Producción y usos de harina refinada de yuca*. Palmira, Colombia: Corporación CLAYUCA.
- Castro, L., y Ávila, D. (2006). Una introducción a la imputación de valores perdidos. *Terra Nueva Etapa*, 22(31), p. 127-151.
- Ceballos, H y De la Cruz, G. (2002). Taxonomía y morfología de la yuca. En Ospina, B. y Ceballos, H. (2002). *La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización* (pp. 16-31). Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (1974). *Programa de sistemas de producción de yuca*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Cock, J. (1989). *La yuca, nuevo potencial para un cultivo tradicional*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Dagnino, J. (2014). Comparaciones múltiples. *Bioestadística y Epistemología*, 43(1), p. 311-312.
- Departamento Nacional de Estadística (2016). *El cultivo de la yuca (Manihot esculenta Crantz)* (No. 46). Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_abr_2016.pdf

Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; González, L.; Tablada, E.; Díaz, M.; Robledo, C.; Balzarini, M. (2008). *Estadística para las ciencias agropecuarias*. Buenos Aires, Argentina: Brujas.

Domínguez, J. y Castaño, E. (2010). *Diseño de experimentos: estrategias y análisis en ciencia y tecnología*. Ciudad de México, México: Alfaomega.

Fernández, E.; Fernández, M.; Pérez, I.; Morón, Y.; García, V.; Perdomo, I. y Pérez, N. (2008). Diseños de experimentos en tecnología y control de los medicamentos. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 39(2), 28-40.

Guerrero, N.; Quintero, M.; Naranjo, J. (2012). Determinación del área foliar en fotografías tomadas con una cámara web, un teléfono celular o una cámara semiprofesional. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 65(1), p. 6399-6405.

Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación*. Ciudad de México, México: McGraw-Hill.

Jaramillo, G. (2002). Recursos genéticos de Manihot en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). En Ospina, B. y Ceballos, H. (2002). *La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización* (pp. 270-291). Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.

Kuehl, R. (2001). *Diseño de experimentos: principios estadísticos de diseño y análisis de investigación*. Ciudad de México, México: Thomson learning.

Lara, A. (2001). *Diseño estadístico de experimentos, análisis de la varianza y temas relacionados: tratamiento informático mediante SPSS*. Granada, España: Proyecto sur.

López, E. y González, B. (2014). *Diseño y análisis de experimentos: fundamentos y aplicaciones en agronomía*. Recuperado de <https://docplayer.es/49683224-Diseno-y-analisis-de-experimentos.html>

Marín, A., Perdomo, D., Albarrán, J. G., Fuenmayor, F. y Zambrano, C. (2008). Evaluación agronómica, morfológica y bioquímica de clones élites de yuca a partir de vitroplantas. *Interciencia*, 33(5), p. 365-371.

Medina, R.; Burgos, M.; Michellod, M. y Cenóz, P. (2017). Cultivo de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) en invernadero: efectos sobre el rendimiento y la calidad de raíces tuberosas. *Interciencia*, 42(8), p. 15-521

Medina, B., Caldera, E., Bermúdez, R., Pérez, C., Gutiérrez, W., y Villalobos, Y. (2015). Respuesta de la planta de yuca manihot esculenta crantz al tipo de corte y posición de siembra de la estaca. *REDIELUZ*, 4(1), p. 87-93.

Medina, F. y Galván, M. (2007). *Imputación de datos: teoría y práctica*. Recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4755/S0700590_es.pdf

Meza, Y., y Julca, A. (2015). Sustentabilidad de los sistemas de cultivo con yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en la subcuenca de Santa Teresa, Cusco. *Ecología Aplicada*, 14(1), p. 55-63.

Mojena, M., y Bertolí, M. P. (2004). Rendimiento en la yuca (*Manihot esculenta*) en diferentes arreglos espaciales. *Agronomía Costarricense*, 28(2), p. 87-94.

Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. Ciudad de México, México: Limusa wiley.

Navarro, M. B., Bustamante, V. A., López, J. R. G., & Manzanares, C. B. (2005). Efecto de las densidades de siembra en el rendimiento de yuca (*Manihot esculentum* Crantz) vr Valencia. *Agronomía Mesoamericana*, 16(2), p. 225-230.

Ortiz, S. (2006). *Determinación de la composición química proximal y fibra dietaria de 43 variedades criollas de maíz de 7 municipios del sureste del estado de Hidalgo* (Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México). Recuperado de <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/630>

Ospina, B. y Ceballos, H. (2002). *La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.

Paladino, M. (2017). *Modelos lineales con R*. Recuperado de https://www.institutomora.edu.mx/testU/SitePages/martinpaladino/modelos_lineales_con_R.html#comparar-modelos-lineales-multiples.

Pérez, C. (2004). *Técnicas de análisis multivariante de Datos: aplicaciones con SPSS*. Madrid, España: Pearson prentice hall.

Pierre, J. y Varela, J. (2006). *Modelización con estructuras de covarianzas en ciencias sociales: temas esenciales, avanzados y aportaciones especiales*. Madrid, España: Gesbiblo, S.L.

Puerta, G. (2006). La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. *CENICAFE, Avances Técnicos No. 352*, 8p.

R Core Team. (2018). *R: un lenguaje y entorno para la computación estadística*. Recuperado de <https://www.R-project.org>

Ramírez, L., y Jiménez, P. (2008). *Manual técnico: el cultivo de yuca Manihot esculenta Crantz para producción de forraje y su utilización en la alimentación de bovinos*. Recuperado de http://www.uneditorial.net/uflip/Manual-tecnico-el-cultivo-de-la-yuca-Manihot-esculenta-crantz-para-produccion-forrajera/pubData/source/Manual-tecnico-el-cultivo-de-la-yuca-Manihot-esculenta-crantz_Uflip.pdf

Rodríguez, A., y Sanders, R. (2016). Ciencia y tecnología Colombo-Suiza ayuda a alimentar el planeta: de la revolución verde a la revolución microbiana. *Acta Biológica Colombiana*, 21(1), p. 297-303

Rojas, R.; Gutiérrez, W.; Esparza, D.; Medina, B.; Villalobos, Y.; Morales, L. (2007). Efecto de la densidad de plantación sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de la yuca Manihot esculenta Crantz, bajo las condiciones agroecológicas de la Altiplanicie de Maracaibo. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 24(1), p. 94-112.

Sánchez, D. y Erazo, A. (2012). *Evaluación del desempeño agronómico de dos variedades de arroz (Oryza sativa L.) bajo condiciones agroclimáticas de lomerío en el Centro de Investigaciones Amazónicas Macagual* (Tesis de pregrado, Universidad de la Amazonía, Florencia, Colombia). Recuperado de <http://chaira.udla.edu.co/chaira/View/Public/Biblioteca/OPAC.aspx>

Sánchez, D., Bedoya, C., Valderrama, A., y Suárez, J. (2013). Desempeño agronómico de dos variedades de arroz en la Amazonia colombiana. *Ingenierías & Amazonia*, 6(1), p. 15-22.

Siegel, S. y Castellan, J. (1995). *Estadística no paramétrica, aplicada a las ciencias de la conducta*. Ciudad de México, México: Trillas.

Silvente, V. y Hurtado, M. (2012). Clasificación de pruebas no paramétricas. Cómo aplicarlas en SPSS. *REIRE: Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 5(2), p. 101-113.

Sterling, A. (2018). *Análisis del intercambio gaseoso y fluorescencia de la clorofila a de Hevea brasiliensis en respuesta a la infección por Microcyclus ulei en condiciones controladas de infección* (Tesis de especialización, Fundación Universitaria Los Libertadores, Bogotá, Colombia). Recuperado de <http://hdl.handle.net/11371/1609>

Suárez, L., y Mederos, V. (2011). Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz): tendencias actuales. *Cultivos tropicales*, 32(3), p. 27-35.

Terrádez, M., & Juan, A. A. (2003). *Análisis de la varianza (ANOVA)*. Recuperado de https://www.academia.edu/7869779/Pasamos_a_realizar_el_ANOVA_doble_Stat_ANOVA_Two-way_Two-way_Analysis_of_Variance_Analysis_of_Variance_for_Puntuaci_Source_DF_SS_MS

Toro, J.C. y Atlee, C.B. (1981). *Prácticas agronómicas para la producción de yuca: una revisión de la literatura*. Cali, Colombia; Centro Internacional de Agricultura Tropical.

Torres, L. (2010) *Caracterización morfológica de 37 accesiones de yuca (Manihot esculenta Crantz) del banco de germoplasma del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)* (Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica). Recuperado de <http://hdl.handle.net/11554/4588>

Trópicos. (2019). *Manihot esculenta Crantz*. Recuperado de <http://www.tropicos.org/Name/12800237>

Vargas, P. (2010). Obtención de almidón fermentado a partir de yuca (*Manihot esculenta* crantz) variedad valencia, factibilidad de uso en productos de panadería. *Tecnología en Marcha*, 23(3), p. 15-23.

Vicaria del Sur. (2018). *Agrobiodiversidad en el sur del Caquetá: caracterización de especies y variedades criollas de semillas campesinas*. Recuperado de http://www.semillas.org.co/apc-aa-files/5d99b14191c59782eab3da99d8f95126/cartilla-vicaria-del-sur_web_1.pdf

Wattiaux, M.; Homan, J.; Moreno, M. y Rodríguez, A. (1998). *Nutrición y alimentación*. Recuperado de http://soda.ustadistancia.edu.co/enlinea/2momento_alimentacionanimal_mariabelalcazar/Composicion_y_Analisis_de_los_Alimentos.pdf

Anexos

Anexo 1. Sentencias en RStudio para el ANOVA, verificación de supuestos y test de Tukey HSD de la característica morfológica porcentaje de emergencia.

```
#####
# Variable Germinación = Yuca
library(readxl)

Yuca= read_xlsx("D:/ESPECIALIZACIÓN EA/CUARTO SEMESTRE/PROYECTO DE
APLICACIÓN II/PROYECTO DE APLICACIÓN/DATOS PROYECTO/GERMINACIÓN SIN
DATOS ATIP..xlsx")

YucaGer= as.data.frame(Yuca) # Data frame = matrix de datos

# Paso 1. Explorar mis datos
summary(YucaGer$`%_GERMINACION`)
hist(YucaGer$`%_GERMINACION`)
qqnorm(YucaGer$`%_GERMINACION`, pch = 19, col = "gray50")
qqline(YucaGer$`%_GERMINACION`)
boxplot(YucaGer$`%_GERMINACION`)

# Exploración de datos boxplot de cada uno de los factores, identificando datos atípicos por
factor y la interacción
boxplot(YucaGer$`%_GERMINACION`~YucaGer$TRATAMIENTO)
boxplot(YucaGer$`%_GERMINACION`~YucaGer$MÉTODO_SIEMBRA)
boxplot(YucaGer$`%_GERMINACION`~YucaGer$DISTANCIA_SIEMBRA)
boxplot(YucaGer$`%_GERMINACION`~YucaGer$MÉTODO_SIEMBRA:YucaGer$DISTAN
CIA_SIEMBRA)

# Paso 2: Anova Se debe declarar como factor bloque
YucaGer$BLOQUE= as.factor(YucaGer$BLOQUE)

## sin interacción
anovaGER=aov(YucaGer$`%_GERMINACION`~
YucaGer$BLOQUE+YucaGer$DISTANCIA_SIEMBRA+YucaGer$MÉTODO_SIEMBRA) #
datos~x representa mis tratamientos o factores de interes
```

```

summary(anovaGER)
## con interacción
anovaGERI=aov(YucaGer$`%_GERMINACION`~
YucaGer$BLOQUE+YucaGer$DISTANCIA_SIEMBRA+YucaGer$MÉTODO_SIEMBRA+
          YucaGer$DISTANCIA_SIEMBRA:YucaGer$MÉTODO_SIEMBRA)
summary(anovaGERI)
# Inspeccionar el anova
plot(anovaGER) # Presenta los datos atípicos: Revisar 6 - 16 - 24
plot(anovaGERI)
# Paso 3: Todo modelamiento tiene supuestos para probar
resiGER=residuals(anovaGER)
plot(resiGER)
hist(resiGER)
qqnorm(resiGER)
qqline(resiGER)
shapiro.test(resiGER)
## Elección del mejor modelo: por lo cual se deben comparar
AIC(anovaGER) # = 222.1798 se selecciona este modelo
AIC(anovaGERI) # = 223.0379
# Paso 4: Realizar una prueba de comparación de medias
TukeyHSD(anovaGER)
plot(TukeyHSD(anovaGER))
install.packages("agricolae")
library(agricolae)
Grupos.e<- HSD.test(y = anovaGER, trt = "YucaGer$MÉTODO_SIEMBRA",group = T,
console = T)
Grupos.eb<- HSD.test(y = anovaGER, trt = "YucaGer$BLOQUE",group = T, console = T)

```

Anexo 2. Sentencias en RStudio para el ANOVA, verificación de supuestos y test de Tukey HSD de las características agronómicas.

```
#####
# Variable Rendimiento = Yuca
library(readxl)

Yuca= read_xlsx("D:/ESPECIALIZACIÓN EA/CUARTO SEMESTRE/PROYECTO DE
APLICACIÓN II/PROYECTO DE APLICACIÓN/DATOS PROYECTO/RENDIMIENTO SIN
DATOS ATIP..xlsx")

YucaRen= as.data.frame(Yuca) # Data frame = matrix de datos

# Paso 1. Explorar mis datos
summary(YucaRen$`RENDIMIENTO_(Ton/ha)`)
hist(YucaRen$`RENDIMIENTO_(Ton/ha)`)
qqnorm(YucaRen$`RENDIMIENTO_(Ton/ha)`, pch = 19, col = "gray50")
qqline(YucaRen$`RENDIMIENTO_(Ton/ha)`)
boxplot(YucaRen$`RENDIMIENTO_(Ton/ha)`)

# Exploración de datos boxplot de cada uno de los factores, identificando datos atípicos por
factor y la interacción
boxplot(YucaRen$`RENDIMIENTO_(Ton/ha)`~YucaRen$TRATAMIENTO)
boxplot(YucaRen$`RENDIMIENTO_(Ton/ha)`~YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA)
boxplot(YucaRen$`RENDIMIENTO_(Ton/ha)`~YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA)
boxplot(YucaRen$`RENDIMIENTO_(Ton/ha)`~YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA:YucaRen$
MÉTODO_SIEMBRA)

# Paso 2: Anova Se debe declarar como factor bloque
YucaRen$BLOQUE= as.factor(YucaRen$BLOQUE)

## sin interacción
anovaRen=aov(YucaRen$`RENDIMIENTO_(Ton/ha)`~
YucaRen$BLOQUE+YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA+YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA)
summary(anovaRen)

## con interacción
anovaRenI=aov(YucaRen$`RENDIMIENTO_(Ton/ha)`~
YucaRen$BLOQUE+YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA+YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA+
```

```

YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA:YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA)
summary(anovaRenI)
RenI=aov(YucaRen$`RENDIMIENTO_(Ton/ha)`~
YucaRen$BLOQUE+YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA+YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA+
YucaRen$TRATAMIENTO)
summary(RenI)
# Inspeccionar el anova
plot(anovaRen) # Presenta los datos atípicos: Revisar 10 - 2 - 28 Son los valores más altos
plot(anovaRenI)
# Paso 3: Todo modelamiento tiene supuestos para probar
# Modelo sin interacción
resiRen=residuals(anovaRen)
plot(resiRen)
hist(resiRen)
qqnorm(resiRen)
qqline(resiRen)
shapiro.test(resiRen)
# Modelo con interacción
resiRenI=residuals(anovaRenI)
plot(resiRenI)
hist(resiRenI)
qqnorm(resiRenI)
qqline(resiRenI)
shapiro.test(resiRenI)
## Elección del mejor modelo: por lo cual se deben comparar
AIC(anovaRen) # = 174.1083
AIC(anovaRenI) # = 164.5311 se selecciona este modelo
# Paso 4: Realizar una prueba de comparación de medias
#HSD (honestly significant difference)
TukeyHSD(anovaRenI)

```

```

plot(TukeyHSD(anovaRenI))
install.packages("agricolae")
library(agricolae)
Grupos.r<- HSD.test(y = RenI, trt = "YucaRen$TRATAMIENTO", group = T, console = T)
#####
# Variable Peso Semilla = Yuca
# Paso 1. Explorar mis datos
summary(YucaRen$`PESO_SEMILLA_(kg)`)
hist(YucaRen$`PESO_SEMILLA_(kg)`)
qqnorm(YucaRen$`PESO_SEMILLA_(kg)`, pch = 19, col = "gray50")
qqline(YucaRen$`PESO_SEMILLA_(kg)`)
boxplot(YucaRen$`PESO_SEMILLA_(kg)`)
# Exploración de datos boxplot de cada uno de los factores, identificando datos atípicos por
factor y la interacción
boxplot(YucaRen$`PESO_SEMILLA_(kg)`~YucaRen$TRATAMIENTO)
boxplot(YucaRen$`PESO_SEMILLA_(kg)`~YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA)
boxplot(YucaRen$`PESO_SEMILLA_(kg)`~YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA)
boxplot(YucaRen$`PESO_SEMILLA_(kg)`~YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA:YucaRen$MÉ
TODO_SIEMBRA)
# Paso 2: Anova Se debe declarar como factor bloque
YucaRen$BLOQUE= as.factor(YucaRen$BLOQUE)
## sin interacción
anovaPS=aov(YucaRen$`PESO_SEMILLA_(kg)`~
YucaRen$BLOQUE+YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA+YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA)
summary(anovaPS)
## con interacción
anovaPSI=aov(YucaRen$`PESO_SEMILLA_(kg)`~
YucaRen$BLOQUE+YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA+YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA+
YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA:YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA)
summary(anovaPSI)
# Inspeccionar el anova

```

```

plot(anovaPS) # Presenta los datos atípicos: Revisar 20 - 5 son los datos mínimos - 19 es un dato
máximo
plot(anovaPSI)
# Paso 3: Todo modelamiento tiene supuestos para probar
# Modelo sin interacción
resiPS=residuals(anovaPS)
plot(resiPS)
hist(resiPS)
qqnorm(resiPS)
qqline(resiPS)
shapiro.test(resiPS)
# Modelo con interacción
resiPSI=residuals(anovaPSI)
plot(resiPSI)
hist(resiPSI)
qqnorm(resiPSI)
qqline(resiPSI)
shapiro.test(resiPSI)
## Elección del mejor modelo: por lo cual se deben comparar
AIC(anovaPS) # = 166.0448 se selecciona este modelo
AIC(anovaPSI) # = 168.0287
# Paso 4: Realizar una prueba de comparación de medias
TukeyHSD(anovaPS)
plot(TukeyHSD(anovaPS))
Grupos.ps<- HSD.test(y = anovaPS, trt = "YucaRen$BLOQUE", group = T, console = T)
#####
# Variable Peso Raíces No Comerciales = Yuca
# Paso 1. Explorar mis datos
summary(YucaRen$`PESO_RAICES_NO_COMERCIALES_(kg)`)
hist(YucaRen$`PESO_RAICES_NO_COMERCIALES_(kg)`)

```

```

qqnorm(YucaRen$`PESO_RAICES_NO_COMERCIALES_(kg)`, pch = 19, col = "gray50")
qqline(YucaRen$`PESO_RAICES_NO_COMERCIALES_(kg)`)
boxplot(YucaRen$`PESO_RAICES_NO_COMERCIALES_(kg)`)
# Exploración de datos boxplot de cada uno de los factores, identificando datos atípicos por
factor y la interacción
boxplot(YucaRen$`PESO_RAICES_NO_COMERCIALES_(kg)`~YucaRen$TRATAMIENTO)
boxplot(YucaRen$`PESO_RAICES_NO_COMERCIALES_(kg)`~YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA)
boxplot(YucaRen$`PESO_RAICES_NO_COMERCIALES_(kg)`~YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA)
boxplot(YucaRen$`PESO_RAICES_NO_COMERCIALES_(kg)`~YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA:YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA)
# Paso 2: Anova Se debe declarar como factor bloque
YucaRen$BLOQUE= as.factor(YucaRen$BLOQUE)
## sin interacción
anovaPRNC=aov(YucaRen$`PESO_RAICES_NO_COMERCIALES_(kg)`~
YucaRen$BLOQUE+YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA+YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA)
summary(anovaPRNC)
## con interacción
anovaPRNCI=aov(YucaRen$`PESO_RAICES_NO_COMERCIALES_(kg)`~
YucaRen$BLOQUE+YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA+YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA+
YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA:YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA)
summary(anovaPRNCI)
PRNCI=aov(YucaRen$`PESO_RAICES_NO_COMERCIALES_(kg)`~
YucaRen$BLOQUE+YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA+YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA+
YucaRen$TRATAMIENTO)
summary(PRNCI)
# Inspeccionar el anova
plot(anovaPRNC) # Presenta los datos atípicos: Revisar 5 - 3 son los datos mínimos incluyendo
el 14 - 1 es un dato máximo
plot(anovaPRNCI)
# Paso 3: Todo modelamiento tiene supuestos para probar
# Modelo sin interacción

```

```

resiPRNC=residuals(anovaPRNC)
plot(resiPRNC)
hist(resiPRNC)
qqnorm(resiPRNC)
qqline(resiPRNC)
shapiro.test(resiPRNC)
# Modelo con interacción
resiPRNCI=residuals(anovaPRNCI)
plot(resiPRNCI)
hist(resiPRNCI)
qqnorm(resiPRNCI)
qqline(resiPRNCI)
shapiro.test(resiPRNCI)
## Elección del mejor modelo: por lo cual se deben comparar
AIC(anovaPRNC) # = 138.7897
AIC(anovaPRNCI) # = 135.3693 se selecciona este modelo
# Paso 4: Realizar una prueba de comparación de medias
#HSD (honestly significant difference)
TukeyHSD(anovaPRNCI)
plot(TukeyHSD(anovaPRNCI))
Grupos.nc<- HSD.test(y = PRNCI, trt = "YucaRen$TRATAMIENTO", group = T, console = T)
Grupos.ncb<- HSD.test(y = PRNCI, trt = "YucaRen$BLOQUE", group = T, console = T)
#####
# Variable Peso Raíces Comerciales = Yuca
# Paso 1. Explorar mis datos
summary(YucaRen$`PESO_RAICES_COMERCIALES_(kg)`)
hist(YucaRen$`PESO_RAICES_COMERCIALES_(kg)`)
qqnorm(YucaRen$`PESO_RAICES_COMERCIALES_(kg)`, pch = 19, col = "gray50")
qqline(YucaRen$`PESO_RAICES_COMERCIALES_(kg)`)
boxplot(YucaRen$`PESO_RAICES_COMERCIALES_(kg)`)

```

```

# Exploración de datos boxplot de cada uno de los factores, identificando datos atípicos por
factor y la interacción
boxplot(YucaRen$`PESO_RAICES_COMERCIALES_(kg)`~YucaRen$TRATAMIENTO)
boxplot(YucaRen$`PESO_RAICES_COMERCIALES_(kg)`~YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA)
boxplot(YucaRen$`PESO_RAICES_COMERCIALES_(kg)`~YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA)
boxplot(YucaRen$`PESO_RAICES_COMERCIALES_(kg)`~YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA:YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA)

# Paso 2: Anova Se debe declarar como factor bloque
YucaRen$BLOQUE= as.factor(YucaRen$BLOQUE)
## sin interacción
anovaPRC=aov(YucaRen$`PESO_RAICES_COMERCIALES_(kg)`~
YucaRen$BLOQUE+YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA+YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA)
summary(anovaPRC)
## con interacción
anovaPRCI=aov(YucaRen$`PESO_RAICES_COMERCIALES_(kg)`~
YucaRen$BLOQUE+YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA+YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA+
YucaRen$DISTANCIA_SIEMBRA:YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA)
summary(anovaPRCI)
# Inspeccionar el anova
plot(anovaPRC) # Presenta los datos atípicos: Revisar 10 - 2 - 28 son los datos máximos
plot(anovaPRCI)
# Paso 3: Todo modelamiento tiene supuestos para probar
# Modelo sin interacción
resiPRC=residuals(anovaPRC)
plot(resiPRC)
hist(resiPRC)
qqnorm(resiPRC)
qqline(resiPRC)
shapiro.test(resiPRC)
# Modelo con interacción
resiPRCI=residuals(anovaPRCI)

```

```

plot(resiPRCI)
hist(resiPRCI)
qqnorm(resiPRCI)
qqline(resiPRCI)
shapiro.test(resiPRCI)
## Elección del mejor modelo: por lo cual se deben comparar
AIC(anovaPRC) # = 242.9039
AIC(anovaPRCI) # = 238.1053 se selecciona este modelo
# Paso 4: Realizar una prueba de comparación de medias
TukeyHSD(anovaPRCI)
plot(TukeyHSD(anovaPRCI))
Grupos.prc<- HSD.test(y = anovaPRCI, trt = "YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA", group = T,
console = T)

```

Anexo 3. Sentencias en RStudio para el ANOVA, verificación de supuestos y test de Tukey

HSD de la composición proximal.

```

#####
# Variable %Humedad = Yuca
library(readxl)
Yuca= read_xlsx("D:/ESPECIALIZACIÓN EA/CUARTO SEMESTRE/PROYECTO DE
APLICACIÓN II/PROYECTO DE APLICACIÓN/DATOS PROYECTO/BROMATOLOGÍA
SIN DATOS ATIP..xlsx")
YucaBro= as.data.frame(Yuca) # Data frame = matrix de datos
# Paso 1. Explorar mis datos
summary(YucaBro$`HUMEDAD_(%)`)
hist(YucaBro$`HUMEDAD_(%)`)
qqnorm(YucaBro$`HUMEDAD_(%)`, pch = 19, col = "gray50")
qqline(YucaBro$`HUMEDAD_(%)`)
boxplot(YucaBro$`HUMEDAD_(%)`)

```

```

# Exploración de datos boxplot de cada uno de los factores, identificando datos atípicos por
factor y la interacción
boxplot(YucaBro$`HUMEDAD_(%)`~YucaBro$TRATAMIENTO)
boxplot(YucaBro$`HUMEDAD_(%)`~YucaBro$MÉTODO_SIEMBRA)
boxplot(YucaBro$`HUMEDAD_(%)`~YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA)
boxplot(YucaBro$`HUMEDAD_(%)`~YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA:YucaRen$MÉTOD
O_SIEMBRA)
# Paso 2: Anova
## sin interacción
anovaHum=aov(YucaBro$`HUMEDAD_(%)`~
YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA+YucaBro$MÉTODO_SIEMBRA)
summary(anovaHum)
## con interacción
anovaHumI=aov(YucaBro$`HUMEDAD_(%)`~
YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA+YucaBro$MÉTODO_SIEMBRA+
YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA:YucaBro$MÉTODO_SIEMBRA)
summary(anovaHumI)
# Inspeccionar el anova
plot(anovaHum) # Presenta los datos atípicos: Revisar 18- 28 - 23 Son los valores más altos
plot(anovaHumI)
# Paso 3: Todo modelamiento tiene supuestos para probar
# Modelo sin interacción
resiHum=residuals(anovaHum)
plot(resiHum)
hist(resiHum)
qqnorm(resiHum)
qqline(resiHum)
shapiro.test(resiHum)
# Modelo con interacción
resiHumI=residuals(anovaHumI)
plot(resiHumI)

```

```

hist(resiHumI)
qqnorm(resiHumI)
qqline(resiHumI)
shapiro.test(resiHumI)
## Elección del mejor modelo: por lo cual se deben comparar
AIC(anovaHum) # = 147.0202
AIC(anovaHumI) # = 148.3586
# Paso 4: Realizar una prueba de comparación de medias
TukeyHSD(anovaHum)
plot(TukeyHSD(anovaHum))
Grupos.h<- HSD.test(y = anovaHum, trt = "YucaBro$MÉTODO_SIEMBRA", group = T,
console = T)
#####
# Variable Grasa Total = Yuca
# Paso 1. Explorar mis datos
summary(YucaBro$`GRASA TOTAL_(g)`)
hist(YucaBro$`GRASA TOTAL_(g)`)
qqnorm(YucaBro$`GRASA TOTAL_(g)`, pch = 19, col = "gray50")
qqline(YucaBro$`GRASA TOTAL_(g)`)
boxplot(YucaBro$`GRASA TOTAL_(g)`)
# Exploración de datos boxplot de cada uno de los factores, identificando datos atípicos por
factor y la interacción
boxplot(YucaBro$`GRASA TOTAL_(g)`~YucaBro$TRATAMIENTO)
boxplot(YucaBro$`GRASA TOTAL_(g)`~YucaBro$MÉTODO_SIEMBRA)
boxplot(YucaBro$`GRASA TOTAL_(g)`~YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA)
boxplot(YucaBro$`GRASA
TOTAL_(g)`~YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA:YucaRen$MÉTODO_SIEMBRA)
# Paso 2: Anova
## sin interacción
anovaGT=aov(YucaBro$`GRASA TOTAL_(g)`~
YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA+YucaBro$MÉTODO_SIEMBRA)

```

```

summary(anovaGT)
## con interacción
anovaGTI=aoV(YucaBro$`GRASA TOTAL_(g)`~
YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA+YucaBro$MÉTODO_SIEMBRA+
          YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA:YucaBro$MÉTODO_SIEMBRA)
summary(anovaGTI)
# Inspeccionar el anova
plot(anovaGT) # Presenta los datos atípicos: Revisar 2 - 11 - 13 Son los valores minimos,
intermedios y maximos
plot(anovaGTI)
# Paso 3: Todo modelamiento tiene supuestos para probar
# Modelo sin interacción
resiGT=residuals(anovaGT)
plot(resiGT)
hist(resiGT)
qqnorm(resiGT)
qqline(resiGT)
shapiro.test(resiGT)
# Modelo con interacción
resiGTI=residuals(anovaGTI)
plot(resiGTI)
hist(resiGTI)
qqnorm(resiGTI)
qqline(resiGTI)
shapiro.test(resiGTI)
## Elección del mejor modelo: por lo cual se deben comparar
AIC(anovaGT) # = 38.32689
AIC(anovaGTI) # = 34.05687 se selecciona este modelo
# Paso 4: Realizar una prueba de comparación de medias
TukeyHSD(anovaGTI)

```

```

plot(TukeyHSD(anovaGTI))

Grupos.g<- HSD.test(y = anovaGTI, trt = "YucaBro$MÉTODO_SIEMBRA",group = T, console
= T)

#####

# Variable %Cenizas = Yuca
# Paso 1. Explorar mis datos
summary(YucaBro$`CENIZAS_(%BS)`)
hist(YucaBro$`CENIZAS_(%BS)`)
qqnorm(YucaBro$`CENIZAS_(%BS)` , pch = 19, col = "gray50")
qqline(YucaBro$`CENIZAS_(%BS)`)
boxplot(YucaBro$`CENIZAS_(%BS)`)

# Exploración de datos boxplot de cada uno de los factores, identificando datos atípicos por
factor y la interacción
boxplot(YucaBro$`CENIZAS_(%BS)`~YucaBro$TRATAMIENTO)
boxplot(YucaBro$`CENIZAS_(%BS)`~YucaBro$MÉTODO_SIEMBRA)
boxplot(YucaBro$`CENIZAS_(%BS)`~YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA)
boxplot(YucaBro$`CENIZAS_(%BS)`~YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA:YucaRen$MÉTOD
O_SIEMBRA)

# Paso 2: Anova
## sin interacción
anovaCE=aov(YucaBro$`CENIZAS_(%BS)`~
YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA+YucaBro$MÉTODO_SIEMBRA)
summary(anovaCE)

## con interacción
anovaCEI=aov(YucaBro$`CENIZAS_(%BS)`~
YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA+YucaBro$MÉTODO_SIEMBRA+
YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA:YucaBro$MÉTODO_SIEMBRA)
summary(anovaCEI)

CEI=aov(YucaBro$`CENIZAS_(%BS)`~
YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA+YucaBro$MÉTODO_SIEMBRA+
YucaBro$TRATAMIENTO)
summary(CEI)

```

```

# Inspeccionar el anova
plot(anovaCE) # Presenta los datos atípicos: Revisar 18 - 17 Son los valores maximos
plot(anovaCEI)
# Paso 3: Todo modelamiento tiene supuestos para probar
# Modelo sin interacción
resiCE=residuals(anovaCE)
plot(resiCE)
hist(resiCE)
qqnorm(resiCE)
qqline(resiCE)
shapiro.test(resiCE)
# Modelo con interacción
resiCEI=residuals(anovaCEI)
plot(resiCEI)
hist(resiCEI)
qqnorm(resiCEI)
qqline(resiCEI)
shapiro.test(resiCEI)
## Elección del mejor modelo: por lo cual se deben comparar
AIC(anovaCE) # = -7.636841
AIC(anovaCEI) # = -15.7299
# Paso 4: Realizar una prueba de comparación de medias
#HSD (honestly significant difference)
Tukey <- TukeyHSD(x=anovaCEI,
'YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA:YucaBro$MÉTODO_SIEMBRA', conf.level=0.95)
plot(Tukey, las=2 , col="brown" )
Grupos.c<- HSD.test(y = CEI, trt = "YucaBro$TRATAMIENTO", group = T, console = T)
#####
# Variable Proteína cruda = Yuca
# Paso 1. Explorar mis datos

```

```

summary(YucaBro$`PROTEINA_CRUDA_(%)`)
hist(YucaBro$`PROTEINA_CRUDA_(%)`)
qqnorm(YucaBro$`PROTEINA_CRUDA_(%)`, pch = 19, col = "gray50")
qqline(YucaBro$`PROTEINA_CRUDA_(%)`)
boxplot(YucaBro$`PROTEINA_CRUDA_(%)`)
# Exploración de datos boxplot de cada uno de los factores, identificando datos atípicos por
factor y la interacción
boxplot(YucaBro$`PROTEINA_CRUDA_(%)`~YucaBro$TRATAMIENTO)
boxplot(YucaBro$`PROTEINA_CRUDA_(%)`~YucaBro$MÉTODO_SIEMBRA)
boxplot(YucaBro$`PROTEINA_CRUDA_(%)`~YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA)
boxplot(YucaBro$`PROTEINA_CRUDA_(%)`~YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA:YucaRen$
MÉTODO_SIEMBRA)
# Paso 2: Anova
## sin interacción
anovaPC=aov(YucaBro$`PROTEINA_CRUDA_(%)`~
YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA+YucaBro$MÉTODO_SIEMBRA)
summary(anovaPC)
## con interacción
anovaPCI=aov(YucaBro$`PROTEINA_CRUDA_(%)`~
YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA+YucaBro$MÉTODO_SIEMBRA+
YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA:YucaBro$MÉTODO_SIEMBRA)
summary(anovaPCI)
# Inspeccionar el anova
plot(anovaPC) # Presenta los datos atípicos: Revisar 4 - 10 - 11 Son valores aparentemente
maximos
plot(anovaPCI)
# Paso 3: Todo modelamiento tiene supuestos para probar
# Modelo sin interacción
resiPC=residuals(anovaPC)
plot(resiPC)
hist(resiPC)

```

```

qqnorm(resiPC)
qqline(resiPC)
shapiro.test(resiPC)
# Modelo con interacción
resiPCI=residuals(anovaPCI)
plot(resiPCI)
hist(resiPCI)
qqnorm(resiPCI)
qqline(resiPCI)
shapiro.test(resiPCI)
## Elección del mejor modelo: por lo cual se deben comparar
AIC(anovaPC) # = -73.58425
AIC(anovaPCI) # = -69.72638
# Paso 4: Realizar una prueba de comparación de medias
TukeyHSD(anovaPC)
plot(TukeyHSD(anovaPC))
Grupos.p<- HSD.test(y = anovaPC, trt = "YucaBro$DISTANCIA_SIEMBRA",group = T,
console = T)

```

Anexo 4. Sentencias en RStudio para el análisis de componentes principales entre las características morfológicas, agronómicas y composición proximal.

```

# ACP
install.packages(c("FactoMineR", "factoextra", "Factoshiny", "ggplot2"))
library("FactoMineR")
library("factoextra")
library("Factoshiny")
library(readxl)
##Datos desde el archivo excel solo se tendra en cuenta las variables cuantitativas

```

```

ACP <- read_excel("D:/ESPECIALIZACIÓN EA/CUARTO SEMESTRE/PROYECTO DE
APLICACIÓN II/PROYECTO DE APLICACIÓN/DATOS PROYECTO/ACP.xlsx")
ACP.CUANT <-ACP[,-19]
cor(ACP.CUANT)
# Matriz de correlaciones para ACP
res.pca<-PCA(ACP.CUANT, scale.unit = TRUE, ncp = 5, graph = FALSE)
# Obtención de los eigenvalores
eig.valR <-get_eigenvalue(res.pca)
#Grafico de sedimentación
library(bindrcpp)
fviz_eig(res.pca,addlabels =TRUE,ylim =c(0,35), ncp = 4,
         barfill = "gray", barcolor = "black", linecolor = "black", xlab = "Componentes", ylab =
"Porcentaje de varianza explicado")
# Gráfica de variables
var <-get_pca_var(res.pca)
# Coordenadas
head(var$coord,11)
# Cos2: Calidad de las variables en el mapa factorial
head(var$cos2)
# Contribuciones a los componentes principales
head(var$contrib)
# Coordenadas de variables
head(var$coord,6)
#resumen total
round(cbind(res.pca$var$coord[,1:4], res.pca$var$cos2[,1:4], res.pca$var$contrib[,1:4]),2)
#biplot tratamientos - características
racp<-prcomp(ACP[,-19], scale= T)
fviz_pca_biplot(racp, label = "var", habillage=ACP$TRATAMIENTO,
               addEllipses=FALSE, ellipse.level=0.95, ylab="CP2 (19.1%)", xlab="CP1 (31%)",
               ggtheme = theme_minimal())

```