Análisis del Diseño de Experimentos de los Macroelementos del suelo de 15 fincas en el municipio de Abrego, Norte de Santander.

Analysis of the Design of Experiments of the Macroelements of the soil of 15 farms in the municipality of Abrego, North the Santander.

Luisa Fernanda Leal Lozada, lfleall@libertadores.edu.co

RESUMEN –

El presente articulo tiene como objetivo validar la hipótesis de que existen diferencias significativas entre el primer y el ultimo muestreo y entre los modelos de policultivos paralos resultados de los análisis de suelos de 7 elementos esenciales en el suelo: Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Azufre, Calcio, Magnesio y Boro. La metodología aplicada fue un Diseño de Bloques Completamente Aleatorizados con un tipo de análisis de modelo III de ANOVA, es decir, mixto teniendo en cuenta que el factor son los dos muestreos y los bloques son los diferentes modelos de policultivos, los resultados obtenidos muestran que solo el nitrógeno y el potasio presentaron diferencias, el primero entre los muestreos y el segundo entre los modelos, se concluye que estos resultados pueden deberse a factores externos como el uso de productos con gran cantidad de contenido de ciertos elementos, una posible falla en la

toma de la muestra, por presencia de microorganismos en el suelo y el corto tiempo entre los muestreos.

Palabras clave: Diseño de Bloques Completamente Aleatorizado, Macroelementos del suelo, Agricultura, Modelo III de ANOVA.

ABSTRACT

The objective of this article is to validate the hypothesis that there are significant differences between the first and the last model demonstrated and between those of polycultures for the results of soil analyzes of 7 essential elements in the soil: Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Sulfur, Calcium, Magnesium and Boron. The methodology applied was a Completely Randomized Block Design with a type of analysis of ANOVA model III, that is, mixed considering that the factor is the two demonstrated and the blocks are the different polyculture models, the results obtained show that only nitrogen and potassium showed differences, the first between those demonstrated and the second between the models, it is concluded that these results may be due to external factors such as the use of products with a large amount of content of certain elements, a possible failure in the sampling, due to the presence of microorganisms in the soil and the short time between those examined.

Keywords: Completely Randomized Block Design, Soil Macroelements, Agriculture, ANOVA Model III.

INTRODUCCIÓN

La Organización de Naciones Unidas (ONU) durante el año 2000 estableció una serie de objetivos firmado por 193 países los cuales son una declaración para alcanzar al año 2030 una serie de objetivos que permitieran reducir la desigualdad a nivel mundial, dentro de estos se encuentra en segundo lugar la clara intención de *Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición, y promover la agricultura sostenible* donde se establece para esta fecha asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías, las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad del suelo y la tierra.

Es fundamental reconocer que el suelo constituye el espacio ideal para ser el medio por el cual las plantas pueden absorber los nutrientes esenciales para su crecimiento considerándose así un ambiente vivo ya que contiene millones de microorganismos los cuales procesan la materia orgánica del suelo, almacenan agua y sostienen las raíces de gran variedad de alimentos. Otra de sus grandes funciones es su capacidad para capturar enormes volúmenes de gases invernadero por lo cual contribuye a mitigar el cambio climático acelerado por la explotación de recursos naturales para satisfacer la creciente demanda de la población que ha aumentado significativamente a nivel mundial.

Sin embargo, para comprender mejor la importancia del suelo se debe entender que existe diversos tipos de suelos los cuales dependiendo de su color, textura y propiedades los cuales después de su respectivo análisis confirmaran el uso de ellos de manera productiva, por lo cual, los suelos arcillosos los cuales retienen mucha agua por lo que se encharcan con

facilidad además de ser susceptibles a la erosión por lo tanto estos suelos son mas propensos a ser usados en fabricación de ladrillos o con un buen manejo en algunos cultivos como el arroz, caña de azúcar y piña. Los suelos limosos son de color más oscuro compactos y más fértiles que los anteriores por lo que poseen más nutrientes y filtran el agua con rapidez por lo que son útiles para los cultivos de frutas y hortalizas y por ultimo los suelos arenosos son suelos ácidos y cálidos poco fértiles, requieren riego continuo aptos para las construcciones o algunos cultivos como la sandía, cítricos o tubérculos. Por ultimo los suelos francos son aquellos que no son lo suficientemente arcillosos o arenosos son conocidos también como suelos mixtos con proporciones equilibradas por lo que son recomendado por su alta productividad agrícola.

También es importante reconocer que en el suelo se encuentran elementos mayores que son fundamentales y necesarios para el correcto desarrollo e las plantas como lo son el nitrógeno (N) el cual le da el color verdoso a las hojas y ayuda al crecimiento de las mismas, el fósforo (P) ayuda a la formación de la raíz y a la floración que posteriormente lleva al fruto y el potasio (K) el cual permite el engruese del tallo y a la formación de los frutos, así mismo los elementos menores como el calcio (Ca) el cual le da a las ramas una estructura fuertes, el Boro (Bo) permite que los frutos se mantengan agarrados a la planta. Dentro del análisis de suelos elaborado por los laboratorios especializados también se cuantifica algunos elementos adicionales como el magnesio (Mg) que ayuda con la fotosíntesis de la planta, el azufre (S) se encarga de que las plantas logren contrarrestar los efectos de las sequias o temporadas de verano.

Algunas prácticas poco favorables como el uso de químicos e insecticidas, el arado de la tierra el cual es la apertura de la tierra por medio de una maquina eliminando la vegetación que protege la capa superior del suelo y haciendo los procesos climáticos más fuertes por lo que el microclima de la zona se altera y si esta práctica se realiza a nivel mundial el microclima también se modifica cambiando un suelo fértil por un suelo desértico generando que cada año 40 millones de personas son desplazadas de sus tierras generando civilizaciones pobres, vulnerables y colapsos sociales.

De acuerdo a lo anterior, la agricultura industrial actual es inviable ya que de seguir en este ritmo de explotación, no nos permitirá llegar a más de 60 cosechas por hectárea, por lo cual son necesarias políticas públicas con resultados tangibles que realmente comprometan a los mandatarios de todos los países del mundo dejando a un lado la competencia por cual es el país con el PIB más alto, rentabilidad económica que puedan tener directivos o personalidades influyentes, así como cambiar radicalmente algunas prácticas de uso excesivo de agroquímicos, apropiar la agricultura regenerativa, el pastoreo planificado y rotativo, la implementación de sistemas agroforestales y silvopastoril y una conciencia individual real sobre la magnitud del problema que representa el cambio climático para la supervivencia del ser humano en el planeta tierra.

Este trabajo consiste en validar la hipótesis de que existen diferencias significativas entre el primer y el segundo muestreo con un tiempo 6 meses de diferencia y entre los modelos de los policultivos, esto argumentado en que en el primer muestreo la situación de los terrenos era que no tenían instaurada la siembra y no se le habían hecho aplicación de fertilizantes y

en la última toma ya los cultivos estaban avanzados y con la aplicación de productos por parte de los agricultores, se realizará un análisis de varianza y prueba de comparaciones múltiples a aquellos elementos que cumplan con los supuestos.

MARCO TEORICO

El diseño de experimentos tiene sus orígenes en aplicaciones de agricultura siendo la familia Fisher la creadora de este método, algunos teóricos como Montgomery (2001), un diseño experimental es una estrategia para variar sistemáticamente los factores controlables de entrada en un proceso y determinar sus efectos en los parámetros de salida del producto. Estadísticamente son invaluables en reducir la variabilidad en las características de calidad y en determinar los niveles de las variables controlables y mejorar el desempeño del proceso. De acuerdo a la revisión de la literatura disponible se encontraron gran cantidad de artículos de investigación sobre el diseño de bloques completamente aleatorizados en temas similares a los que se tratan en este documento, a continuación, se referencian algunos de ellos.

El primer artículo encontrado es el de Ruiz, Sánchez & Tua (2006) donde se estudiaron el efecto de tres niveles de potasio, colocados en tres formas diferentes sobre la concentración foliar de N, P, K, Ca y Mg, donde se usó un diseño en bloques al azar con 7 tratamientos y con 6 repeticiones dando un total de 42 unidades experimentales, formadas cada una por cuatro surcos de 4 metros de largo, los resultados arrojaron que la concentración de N disminuyó durante el cuajado y luego aumentó en la fructificación, lo cual coincide con lo reportado por Jones y que de Manera general todos los elementos disminuyeron durante la fase de cuajado, siendo esta disminución en el orden de Ca, N, Mg, K, P.

En el país de Venezuela Sánchez & Faria Mármol (2013) tuvieron como propósito evaluar el efecto de la edad de utilización en el contenido de proteína cruda (PC), digestibilidad in vitro de la materia orgánica (DIVMO) y concentración mineral, a través del perfil del pastizal asociado Cenhrus. ciliaris (Cc). – Leucaena leucocephala (Ll), Se usó un diseño de bloques al azar con tres repeticiones y el experimento fue de factor único siendo éste la edad de la planta (42, 84, 126 y 168 días) considerado a partir del corte de uniformización, los resultados obtenidos encontraron que la madurez de la planta afectó de manera significativa (P menor a 0,05) a la PC, DIVMO y concentraciones de macroelementos en las especies asociadas C. ciliaris y L. leucocephala por ultimo pudieron concluir que los macroelementos estudiados fueron afectados en el pasto buffel de manera diferente, tanto por la madurez como por el perfil de la planta, siendo el Mg. quien mostró más sensibilidad a ambos factores, mientras que en la Leucaena, se observó mayor estabilidad en sus contenidos de nutrientes.

Cervantes H. (2014) en Perú, determinó el efecto en el crecimiento de una planta y la sintomatología que causa la omisión de cada uno de los macronutrientes en la especie caoba, en este trabajo de investigación se utilizó el diseño completamente al azar, con 7 tratamientos y 4 repeticiones, teniendo un total de 28 unidades experimentales. Para los promedios se utilizaron la prueba Tukey al 5% de significancia para cada variable en estudio. Los resultados arrojaron que tanto la omisión de Potasio como también la omisión de calcio afectaron drásticamente la variable altura de la planta, lo cual es un reflejo en lo importante que significa el potasio en la nutrición mineral de la planta y el estudio concluyó que se debe seguir estudiando los efectos de la carencia de macronutrientes en la especie forestal caoba *(Swetenia macrophylla* King.), haciendo énfasis en la fertilización de diferentes niveles de calcio y potasio, tanto en soluciones nutritivas como en condiciones de campo definitivo

puesto que la carencia de estos macronutrientes, en el cultivo inicial bajo condiciones de hidroponía, causaron un desarrollo limitado de la planta y en el caso del calcio incluso la muerte de la planta misma.

Villazón Gómez, Gutiérrez & Cobo Vida (2016) tuvieron como objetivo determinar el contenido de materia seca y macroelementos primarios en la biomasa foliar de la caña de azúcar fertilizada con diferentes dosis de fósforo la metodología usada fue El trabajo se realizó durante el tercer ciclo de un experimento con un diseño de bloque al azar (8 tratamientos x 6 repeticiones), Se realizó un análisis bifactorial donde se estudiaron las variables Dosis de fósforo y Cepa y la interacción Dosis de fósforo por Cepa. Se efectuó un Análisis de Varianza de clasificación simple y las medias de los tratamientos se compararon mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan a un 5 % de probabilidad de error, para determinar si el conjunto de factores considerados produce un efecto estadísticamente diferenciado en cuanto al comportamiento de los mismos en cada una de las variables analizadas. Para el procesamiento de los datos obtenidos fue utilizado el software Statistica 7, las conclusiones obtenidas fueron que en cuanto a los macroelementos en el caso de la interacción Dosis de Fósforo por cepa el Nitrógeno no mostró diferencias significativas, sin embargo, no ocurrió lo mismo en lo que respecta al Fósforo y al Potasio, donde los mayores resultados se concentraron en el 2do retoño con aplicaciones anuales y al inicio de cada ciclo.

Así mismo, Segoviano, Cabrera Sixto, Gutiérrez Vaca & Márquez (2016) en esta investigación abordaron las posibilidades de predicción del contenido de nitrógeno, fosforo y potasio en plantas de maíz usando la reflectancia espectral de las hojas del cultivo, en condiciones de campo, el diseño del experimento para esta etapa consiste en bloques al azar, en el cual se establecen cinco tratamientos (áreas), los resultados muestran que el tratamiento

T 5 (color cian) en el cual hay ausencia de nitrógeno es más diferenciable que el resto de los tratamientos, lo que resalta la importancia del macroelemento nitrógeno en la nutrición de la planta. La hoja 3 exhibe buena separabilidad en la zona de la base. Por lo anterior podemos concluir que las hojas que mejor permiten diferenciar entre deficiencias de nutrientes son la 1era y la 2da. y con respecto a la zona de la hoja (base, media y punta) que mejor exhibe deficiencias y por lo tanto los tratamientos son más diferenciables, es la zona de la base, sin embargo, la zona media de la hoja también muestra buena separabilidad en las tres hojas analizadas.

Galvis Jaramillo (2017) en su investigación evaluó con un modelo de diseño experimental, el efecto del control de las semillas del árbol de Neem para el control de broca, consistió en el análisis de un modelo lineal y un diseño con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, los resultados de la prueba de Tukey arrojaron que existen diferencias significativas entre los cinco tratamientos y concluyó que la dosis alta de extracto de Neem de 1,5 gramos por hectárea controla la broca de manera eficiente en la última evaluación de los 21 días con un 85% en las dos localidades probadas.

Así mismo, Ruíz Ramirez & Zambrano Moreno (2018) analizaron en el corto plazo los efectos de la aplicación de la porcinaza como fertilizante en los suelos de algunos municipios de Valle y Antioquia, en este estudio se realizó un diseño experimental usando un análisis factorial paramétrico y un análisis no paramétrico con el test Kruskal Walis, se tomaron muestras en seis fincas experimentales, tres en cada uno de los departamentos de análisis y con los resultados obtenidos pudieron concluir que con la aplicación de porcinaza como

fertilizante se encontraron diferencias significativas en variables como el nitrógeno y el fosforo.

Por último, Su García & Chinchay Inga (2021) evaluaron el efecto del abono orgánico fermentado Bocashi y el cultivo de Callisia Repens en la producción del cacao, el diseño de experimentos fue de bloques completamente al azar con cuatro tratamientos y cinco repeticiones se realizaron análisis de varianza, comparación de medias mediante la prueba LSD de fisher con el uso de software R, los resultados mostraron que en el tratamiento 3 de Bocashi y Callisia se obtuvieron mayores efectos estadísticamente superiores sobre los indicadores productivos evaluados y concluyeron que la producción de cacao mejoró de manera positiva a la aplicación de los tratamientos compuestos por abono Bocashi y Callisia Repens frente al grupo testigo.

METODOLOGÍA

Los datos hacen parte de un proyecto de investigación del Sistema General de Regalías (SGR), operado por la Universidad Francisco de Paula Santander – Ocaña y supervisado por la secretaria de las Tecnologías de Información y Comunicaciones de la Gobernación de Norte de Santander. Los análisis de suelos fueron tomados por los técnicos del proyecto y enviados a un laboratorio especializado con un total de 6 muestreos, dentro de este total dos fueron los escogidos por la investigadora de manera que permitiera analizar el comportamiento de los macroelementos en dos momentos: antes y después del establecimiento de los cultivos, las fechas de la primera toma es de marzo del 2021 y la última toma de noviembre del mismo año.

El muestreo de suelos se desarrolló de acuerdo al Documento Técnico del proyecto "IMPLEMENTACIÓN DE POLICULTIVOS PARA LA RECUPERACIÓN DEL POTENCIAL PRODUCTIVO EN EL DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER", donde:

> Para adelantar esta actividad en cada uno de los predios identificados se realizará un muestreo en un análisis en laboratorio (fertilidad). Para ello, se tomará una submuestra (10 a 15 muestras) en forma de zigzag. Cada submuestra se depositará en un balde plástico y se mezclarán todas las submuestras, homogenizando el suelo colectado que permitirá obtener una muestra compuesta que representará todo el lote, con un peso de 500 gr. Esta se embolsará y se identificará de acuerdo con los requerimientos del laboratorio. Las submuestras obtenidas se realizarán en un corte en V del suelo hasta 30 cm de profundidad. Se descartarán los bordes para evitar cualquier contaminación. (Gobernación de Norte de Santander, 2019, págs. 150-151)

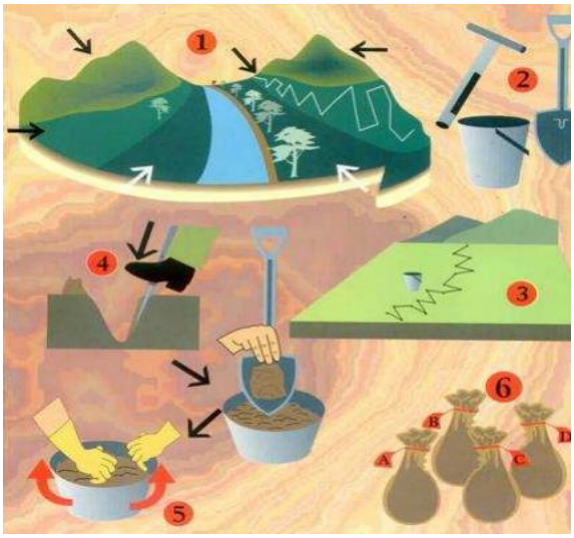

Figura 1. Metodología del muestreo de suelos

Figura 2. Muestreo en uno de los predios

El diseño estará conformado el un factor llamado *tratamiento* que seria los dos muestreos de suelos denominados en este documento como *Antes y Después* y por 3 modelos de policultivos (cultivos de ciclo corto) explicados en la tabla 1 que en la investigación constituyen los *bloques* que son una variable inherente en el experimento, es importante aclarar que cada modelo este compuesto por 5 fincas (replicas).

Tabla 1. Cultivos transitorios pertenecientes a cada uno de los modelos establecidos como Bloque.

Modelos de Policultivos	**Cultivos**
Modelo 1	Tomate Chonto F1 Hibrido Maíz ICA-V305 Frijol Zaragoza
Modelo 2	Maíz ICA V 305 Habichuela Lago Azul Cebolla Red Creole
Modelo 3	Pimentón Patricio Maíz ICA-V305 Habichuela Lago Azul

Los elementos principales que serán las variables a analizar son las siguientes:

- Nitrógeno (N-NO3) ppm (por los protocolos establecidos en el laboratorio en forma de nitrato)
- Fosforo (P) ppm
- Potasio (K) meq/100 cc
- Azufre (S) ppm

- Calcio (Ca) meq/100 cc
- Magnesio (Mg) (meq/100 cc)
- Boro (B) ppm

Se realizará un Diseño de Bloques Completamente Aleatorizado (DBCA), se usa este modelo que según Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar (2008) cuando se quieren comparar ciertos tratamientos o estudiar el efecto de un factor, es deseable que las posibles diferencias se deban principalmente al factor de interés y no a otros factures que no se consideran en el estudio. Cuando esto no ocurre y existen otros factores que no se controlan o nulifican para hacer la comparación, las conclusiones podrían ser afectadas sensiblemente. El modelo estadístico de este método es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \varepsilon_{ij}; \begin{cases} i = 1,2, \ldots . k \\ j = 1,2, \ldots b \end{cases}$$

donde,

Y_{ij} es la medición que corresponde al tratamiento

μ es la media global poblacional

τ_i es el efecto debido al tratamiento i

γ_j es el efecto debido al bloque j

ε_{ij} es el error aleatorio atribuible a la medición Y_{ij}

RESULTADOS

A continuación, se presenta el análisis de la estadística descriptiva de los elementos de manera individual con los estadígrafos conocidos y posteriormente se muestra la

interpretación de la estadística inferencial conformada por una exploración grafica de los datos, validación de los supuestos, modelo lineal y los análisis de varianza.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de los macroelementos del suelo en el primer muestreo

	Estadísticos Descriptivos	$N\text{-}NO_3$ Ppm	P Ppm	K (meq / 100 cc)	S Ppm	Ca (meq / 100 cc)	Mg (meq / 100 cc)	B Ppm
Abrego/Primer muestreo	Mínimo	5,00	4,00	0,130	1,00	0,550	0,340	1,00
	Máximo	100	202,00	0,730	75,00	14,080	5,070	54,00
	Media	54,00	53,267	0,330	20,20	5,50	1,565	19,866
	Varianza	1415,000	3811,638	0,042	673,88	13,734	1,851	348,410
	Desviación Est.	37,616	61,738	0,205	25,959	3,734	1,360	18,665
	Curtosis	-1,796	0,084	-1,360	-0,785	-0,834	0,852	-0,707
	Asimetría	0,029	1,194	0,377	0,927	0,363	1,439	0,852
	C. de variación (%)	69,65	115,90	62,12	128,50	67,89	86,90	93,95%

Durante el primer muestreo macroelementos como el nitrógeno y el fosforo tuvieron una alta variabilidad a comparación con los resultados de los otros elementos, así mismo su desviación estándar muestra que estos dos elementos son los que tienen sus datos más alejados de la media, se presenta también asimetría positiva en todos los elementos y la Curtosis que determina el grado de concentración que presentan los guarismos en la región central de las variables, las variables que mostraron una Curtosis Platicurtica (menor a cero), fueron nitrógeno, potasio, azufre y calcio una curtosis leptocúrtica (mayor a cero), es decir, los datos muy concentrados en la media, siendo una curva muy apuntada fueron el fosforo y el magnesio. El coeficiente de variación muestra que, aunque todos los elementos tienen un

porcentaje mayor al 50% el Fosforo y el Azufre son lo que mayor dispersión en sus datos tienen.

Tabla 3. Estadísticos descriptivos de los macroelementos del suelo en el último muestreo

	Estadísticos Descriptivos	N-NO_3 Ppm	P Ppm	K (meq / 100 cc)	S Ppm	Ca (meq / 100 cc)	Mg (meq / 100 cc)	B Ppm
Abrego/Último muestreo	Mínimo	5,00	2,00	0,150	1,00	1,51	0,29	3,00
	Máximo	300	147,00	0,970	38,00	14,00	5,020	76,00
	Media	34,00	32,60	0,412	7,33	5,63	1,543	27,200
	Varianza	5618,571	1584,543	0,044	146,095	13,616	1,581	330,314
	Desviación Est.	74,957	39,806	0,210	12,087	3,69	1,257	18,174
	Curtosis	7,584	1,821	0,808	1,174	-0,592	1,261	2,848
	Asimetría	2,953	1,547	1,095	1,656	0,658	1,414	1,848
	C. de variación (%)	220,46	122,10	50,97	164,89	65,54	81,46	66,81%

Para el ultimo muestreo los datos que siguen presentando mayor varianza en sus datos son el nitrógeno, el fosforo y el azufre, se evidencia que en estos tres elementos la desviación de los datos con respecto a su media es mayor. La asimetría es positiva en todos los elementos y una curtosis Platicurtica lo que quiere decir una muy poca concentración de datos en la media solo se presentó en el Calcio. El coeficiente de correlación es muestra que al igual que el primer muestreo todos los porcentajes son mayores a 50% aquellos que presentan mayor dispersión en los datos son el nitrógeno, el fosforo y el azufre.

Estadística inferencial y diseño de experimentos

En este apartado se realizará un análisis de manera individual para cada uno de los macroelementos, haciendo en primera medida un análisis exploratorio de los datos con la interpretación de las gráficas de histograma, curva de densidad, boxplot y diagrama de dispersión, se comprobarán los supuestos de normalidad se usará la prueba Shapiro Wilk para datos menores de 30 casos la cual según (Cabrera, Zanazzi, Zanazzi, & Boaglio, 2017)pertenece al grupo que tienen como estrategia común el análisis de la correlación entre la distribución teórica y la experimental; se basan en la relación de dos estimaciones por mínimos cuadrados, ponderados por una escala obtenida de las estadísticas de orden, la prueba de autocorrelación o de independencia de errores de Durwin Watson en donde se aplica el contraste para los residuales de mínimos cuadrados y por último la prueba de varianzas iguales de Barlett es una modificación del test de Neyman y Pearson para "corregir el sesgo" ; esta prueba es la que se utiliza con más frecuencia para probar la homogeneidad de las varianzas. Correa, Iral & Rojas (2006).

Para los elementos cuyos datos sean paramétricos se realizará el modelo lineal con el fin de observar los parámetros de cada elemento con la ecuación anteriormente descrita y el Análisis de Varianza (ANOVA) el cual se utiliza cuando hay más de dos grupos que necesitan ser comparados, cuando hay mediciones repetidas en más de dos ocasiones, cuando los sujetos pueden variar en una o más características que afectan el resultado y se necesita ajustar su efecto o cuando se desea analizar simultáneamente el efecto de dos o más tratamientos diferentes Dagnino (2014)por lo tanto esta metodología que permitirá observar si existen diferencias significativas entre los muestreos y entre los modelos y la prueba Tukey que compara las medias para todos los tratamientos posibles, pues controla de mejor manera los

dos errores ampliamente conocidos en la estadística Quesada, Obando & Vargas Montero (2019). Para los elementos no paramétricos (datos que no tienen distribución normal) se aplicará primero una transformación logarítmica de los datos buscando una normalidad, sin embargo, de no conseguirlo se aplicará una prueba Kruskall Wallis que es una prueba estadística no paramétrica que evalúa las diferencias entre tres o más grupos muestreados de forma independiente en una sola variable continua que no se distribuye normalmente McKight & Najab (2010)

Nitrógeno

Al analizar el primer Macroelemento de manera visual se puede observar por medio los gráficos de histograma, Curva de Densidad, Boxplot y curva de Dispersión que aparentemente los datos no presentan normalidad por lo que se corrobora por medio de la prueba normalidad y de Homocedasticidad, cuyos valores P fueron menores a 0,05 por lo que se rechazan las hipótesis nulas y se concluye que los supuestos no se cumplen para este elemento. Se realizan diferentes transformaciones, pero los valores P siguen siendo menores a 0,05 como se aprecia en la tabla 3, por lo que se procede a aplicar la prueba no paramétrica Kruskall Wallis.

Figura 3. Análisis Exploratorio de datos para el elemento Nitrógeno

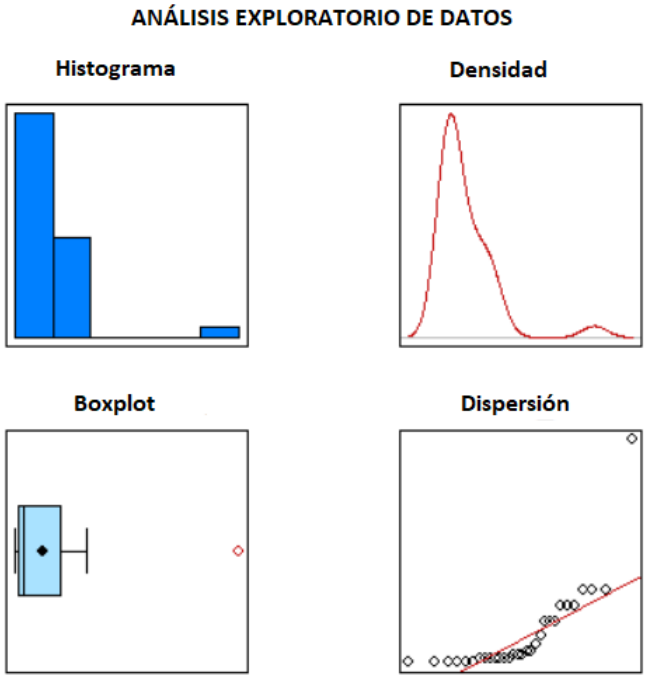

Tabla 3. Validación de supuestos y transformación de datos para el Nitrógeno

	Prueba de Normalidad	**Prueba de Independencia**	**Prueba de Homocedasticidad**
Hipótesis	Ho: Distribución normal Ha: Distribución no normal	Ho: Los errores son independientes Ha: Los errores son dependientes	Ho: Las varianzas son iguales Ha: Las varianzas son diferentes
Estadístico	W: 0,94411	DW: 2,5213	Bartlett K2: 5,9731
P Value	11,709E-07	0,8668	0,01453
Transformación de Datos			
Estadístico	W: 0,90721	DW: 2,2744	Bartlett K2: 0,0284
P Value	0,01266	0,6562	0,8663

La figura 3 muestra cómo se comportan los datos por medio de una caja de bigotes o Boxplot donde se puede observar que no se presentan mayores diferencias entre los modelos, sin embargo al comparar el muestreo es decir las barras rojas (primer muestreo) y azules (segundo muestreo) se evidencia que pueden tener comportamientos distintos por lo cual se corrobora con la prueba Kruskall Walis y al obtener los valores P menor a 0,05 se observa

que efectivamente las diferencias se presentan entre el muestreo por lo que se puede concluir que para la variable Nitrógeno los muestreo son diferentes estadísticamente.

Figura 3. Boxplot de las variables Muestreo y Modelo para el elemento Nitrógeno

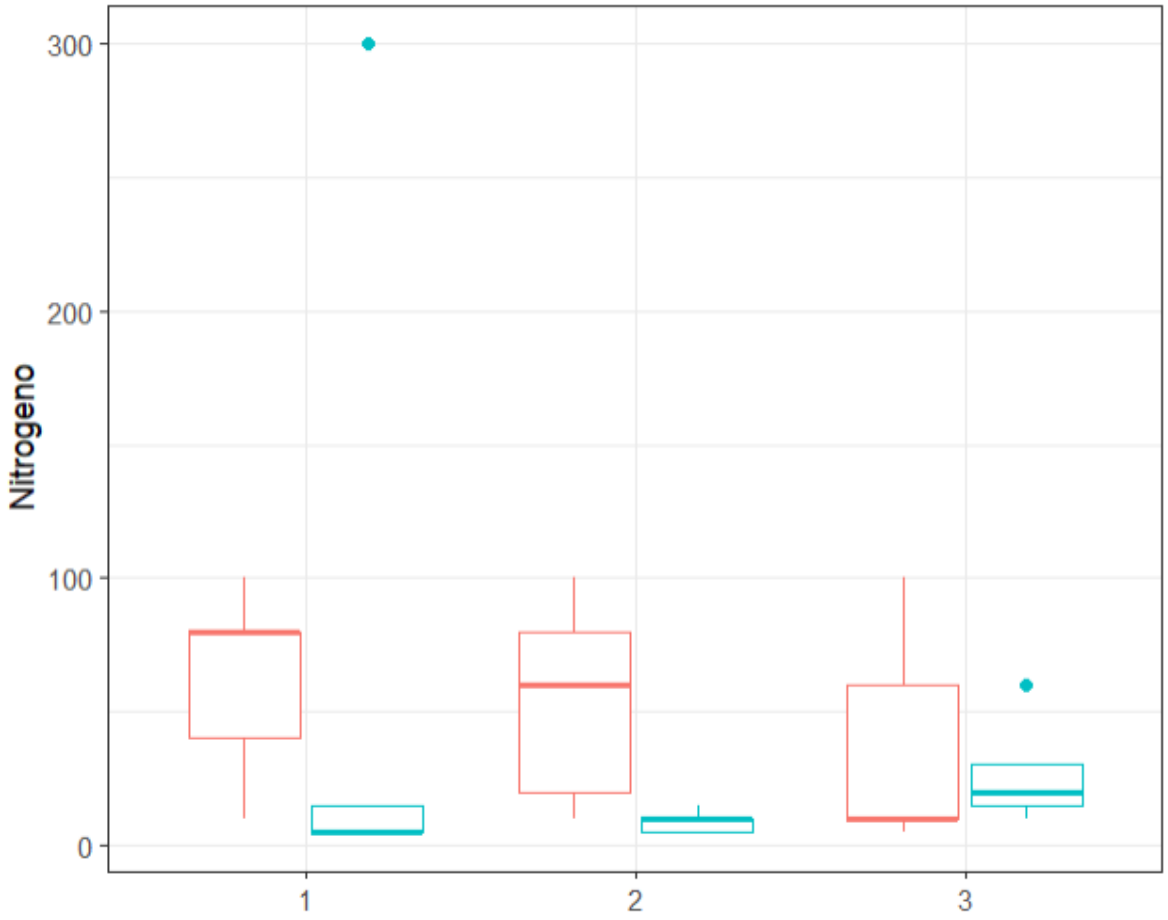

Tabla 4. Prueba Kruskall Wallis para las variables Muestreo y Modelo

	Muestreo	**Modelo**
	Ho: No hay diferencias significativas Ha: hay diferencias significativas	
Estadístico	Chi2: 4,6753	Chi2: 0,24657
Valor P	0,0306	0,889

Potasio

Al contrario de los elementos antes analizados el Potasio, aunque el histograma y el diagrama de dispersión muestran que los datos no tienen una distribución normal al aplicar las pruebas para validar los supuestos los valores P son mayores a 0,05 por lo que se acepta la hipótesis nula de normalidad en los datos, independencia en los errores y las varianzas iguales por lo que se validan y se procede a realizar la estadística inferencial conformada por el modelo lineal y la ANOVA.

Figura 5. Análisis Exploratorio de datos para el elemento Potasio

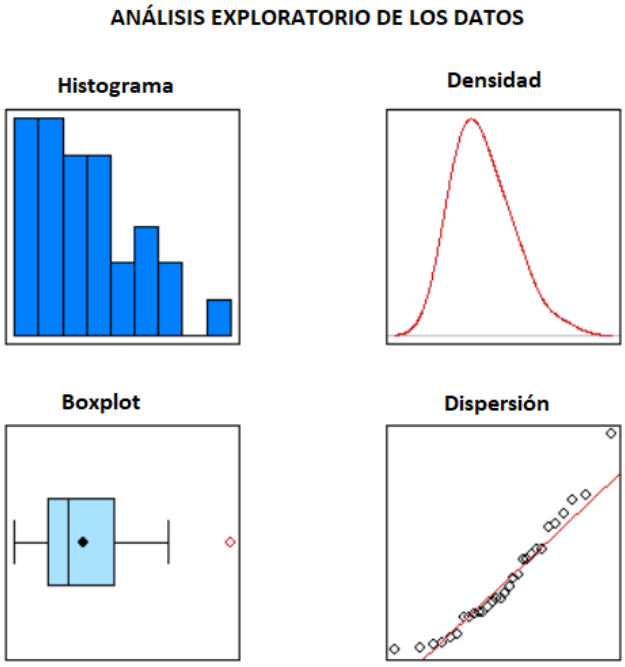

Tabla 5. Validación de supuestos y transformación de datos para el Potasio

	Prueba de Normalidad	**Prueba de Independencia**	**Prueba de Homocedasticidad**
Hipótesis	Ho: Distribución normal Ha: Distribución no normal	Ho: Los errores son independientes Ha: Los errores son dependientes	Ho: Las varianzas son iguales Ha: Las varianzas son diferentes

Estadístico	W: 0,93571	DW: 2,4375	Bartlett K2: 0,0065487
P Value	0,06975	0,8072	0,9355

El modelo Lineal 1 obtenido para el Potasio muestra que el modelo es explicado por las variables en un 31,31% y que las variables que tienen significancia dentro del modelo son el intercepto y la variable Modelo con unos valores P menores a 0,05 lo que quiere decir que tienen una injerencia directa en el pronóstico de los valores del elemento en la población. Al analizar el ANOVA se puede concluir que no hay diferencias significativas a nivel de Muestreo, pero si a nivel de Modelo ya que este valor P es menor a 0,05 y el valor del estadístico F es bastante alejado de 1.

Tabla 6. Modelo Lineal 1 del elemento Potasio

	Estimate	**Error**	**T value**	**P Value**
Intercept	0,629	0,128	4,911	3,87e-05*
Muestreo	0,028	0,064	0,437	0,66544
Modelo	-0,136	0,039	-3,481	0,00172*
Multiple R - squared	0,3131			

Tabla 7. Análisis de varianza del elemento Potasio

	Df	**Sum Sq**	**Mean Sq**	**F Value**	**P Value**
Muestreo	1	0,0059	0,0059	0,191	0,66544
Modelo	1	0,3726	0,3726	12,114	0,00172*
Residuals	27	0,8306	0,0308		

La figura a continuación muestra el comportamiento del Potasio, donde se puede observar que como lo indica la prueba Anova el Modelo presenta diferencias estadísticas pues el comportamiento de las cajas sobre todo en el modelo 2 muestra mayor dispersión presentando la mayor acumulación de los datos en el tercer cuartil para el muestreo del *Después*, además de los datos atípicos que se muestran algunas cajas. La prueba Tukey aplicada en la tabla 9

se muestra las diferencias, los intervalos de confianza donde para los modelos 2-1 no se puede afirmar diferencia ya que entre estos rangos un posible valor es el 0 no hay suficiente evidencia estadística para demostrar diferencias, diferentes resultados son los grupos entre los modelos 3-1 y entre los modelos 2-3 ya que los valores P menores a 0,05 se rechaza la hipótesis nula de igualdad y se comprueba que hay diferencias significativas entre ellos.

Figura 6. Boxplot de las variables Muestreo y Modelo para elemento Potasio

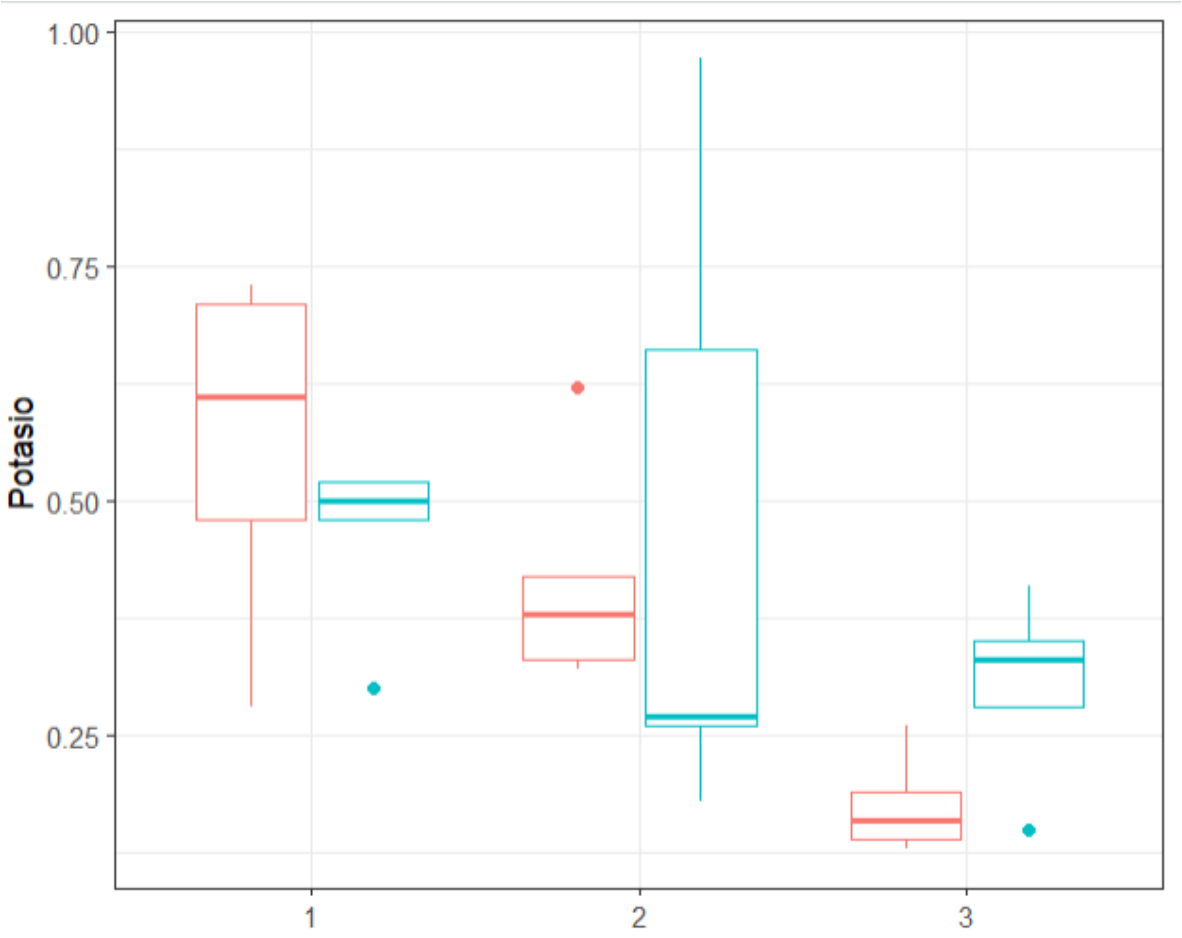

Tabla 9. Prueba Tukey del elemento Potasio

	diff	lwr	upr	P adj
2-1	-0,072	-0,2672744	0,123274372	0,6351174
3-1	-0,273	-0,4682744	-0,077725628	0,0049820*
3-2	-0,201	-0,3962744	-0,005725628	0,0427362*

CONCLUSIONES

Aunque la hipótesis planteada esperaba encontrar diferencias estadísticas para todos los elementos analizados, se pudo concluir que tan solo el nitrógeno presentó diferencias estadísticas entre los muestreos y el Potasio entre los modelos, las demás variables no mostraron diferencias estadísticas significativas ni para el tratamiento ni para el factor, esto debido a que posiblemente se presentaron trazas en el suelo producto de aplicación de fertilizantes a base de urea (46-0-0) y cloruro de potasio (0-0-60) siendo los más populares y de mayor uso en el mundo por su alto contenido en nitrógeno y potasio aportando nutrientes primarios ideales para los cultivos.

Por otro lado, se puede deducir que también cabe la posibilidad de fallas en la toma de la muestra de suelo como también, que ciertos elementos inhiben la presencia de otros ya que según la nomenclatura reportada por el laboratorio se encuentran en mayor escala un alto contenido de Aluminio, evitando la eficiente absorción de los otros elementos para el buen desarrollo de los cultivos, y en algunos casos estos resultados pueden ocasionarse por la presencia de microorganismos que se encargan de absorberlos para la misma transformación y mejoras del suelo por lo que pueden no estar disponibles.

De acuerdo a lo anterior se recomienda según los resultados de análisis de suelos, la incorporación de materia orgánica 100% descompuesta y de manera escalonada, así como revisar cantidades específicas de cada elemento en relación gramos por planta cultivada, de igual manera, se deben realizar análisis de suelos con periocidad de mínimo un año para evaluar los cambios en relación a los muestreos anteriores y de esta manera llevar la estadística de una posible aumentos o disminuciones significativas de cada macro y micro elemento macro en el suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cabrera, G., Zanazzi, J. F., Zanazzi, J. L., & Boaglio, L. (2017). Comparación de potencias en pruebas estadísticas de normalidad, con datos escasos. *Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, *4*(2), 47-52.

Correa, J. C., Iral, R., & Rojas, L. (2006). Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza. *Revista colombiana de estadística*, *29*(1), 57-76.

Dagnino, J. (2014). Análisis de varianza. *Revista chilena de anestesia*, *43*(4), 306-310.

Cervantes Huilca, J. (2014). Efecto de la carencia de macro elementos nutritivos en el crecimiento inicial y sintomas de deficiencia en caoba (swletenla macrophya klng.) en Pucallpa.

Conover, W., Johnson, M. E. & Johnson, M. (1981), 'A Comparative Study of Tests for Homogeneity of Variances, with Applications to the Outer Continental Shelf Bidding Data', Technometrics 23, 351– 361.

Galvis Jaramillo, M. T. (2021). Evaluación extracto de Neem para el control de broca del café bajo un diseño de bloques completos al azar (BCA).

Gutiérrez Pulido, H., & Vara Salazar, R. D. L. (2004). Análisis y diseño de experimentos.

McKight, P. E., & Najab, J. (2010). Kruskal- wallis test. *The corsini encyclopedia of psychology*, 1-1.

Montgomery, D. (2001). Introduction to statistical quality control. (4. A ed.). New York.: John Wiley Sons.

Ruiz, C., Sánchez, A., & Tua, D. (2006). Efecto de la dosis y forma de colocación del potasio sobre la concentración foliar de macroelementos en el tomate (Lycopersicon esculentum Mill.). *Rev. Fac. Agron. LUZ*, *23*(2), 161-171.

Ruiz Ramírez, D. M., & Zambrano Moreno, G. S. (2019). Efecto, en el corto plazo, de la porcinaza en suelos. Estudio de caso desde diseño de experimentos en algunos municipios de Valle y Antioquia.

Quesada, D. G., Obando, J. S., & Montero, A. V. (2019). Impacto del desbalance en los tamaños de muestra por tratamiento sobre el desempeño de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. *SERENGUETI*, 38.

Sánchez, A., & Faria, M. J. (2013). Efecto de la madurez de la planta en el contenido de nutrientes y la digestibilidad en una asociación Cenchrus ciliaris-Leucaena leucocephala. *Zootecnia Tropical*, *31*(1), 16-23.

Su García, N. C., & Chinchay Inga, M. (2021). Efecto de la aplicación de "Bokashi" y "Callisia Repens" como alternativa ecológica para mejorar la producción de cacao en Rioja–San Martín.

Villazón Gómez, J. A., Martín Gutiérrez, G., & Cobo Vidal, Y. (2016). Materia seca y macroelementos primarios en la biomasa foliar de la caña de azúcar fertilizada con diferentes dosis de fósforo. *Centro Agrícola*, *43*(3), 63-72.

Segoviano, M. A. Z. (2016). "Congreso internacional de investigación e innovación 2016" Identificación de las deficiencias de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en el Maíz.

LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA