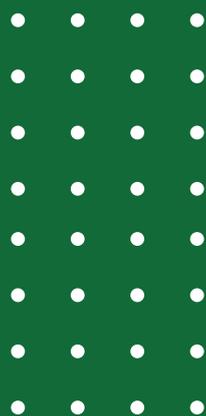


**DISERTACIÓN SOBRE LA
PLANIFICACIÓN E
INTERPRETACIÓN DE DISEÑOS
EXPERIMENTALES APLICANDO
ANOVA. HOMOGENEIDAD /
HETEROGENEIDAD. PARTE III.**





Disertación sobre la planificación e interpretación de
diseños experimentales aplicando ANOVA.
Homogeneidad / Heterogeneidad. Parte III.

© José Luis Rosales Saavedra, Christian Santander
Valeriano, Alelí Salinas De las Casas.

Primera edición - Febrero 2025.

LO JUSTO S.A.C.

Composición: Marketing - LO JUSTO S.A.C.

Jr. Huánuco Nro. 204 Semi Rural Pachacútec, Cerro
Colorado, Arequipa, Perú.

Teléf. móvil: (+51) 998 656 536
E-mail: controloperaciones@lojusto.com
Lab-PMR@lojustosac.com

Depósito Legal: 2025-01555

Disertación sobre la planificación e interpretación de
diseños experimentales aplicando ANOVA.
Homogeneidad / Heterogeneidad. Parte III. © 2025 by
José Luis Rosales Saavedra, Christian Santander
Valeriano, Alelí Salinas De las Casas is licensed under
CC BY-NC-ND 4.0

© 2025, LO JUSTO S.A.C. - Reservados todos los
derechos.

DISERTACIÓN SOBRE LA PLANIFICACIÓN E INTERPRETACIÓN DE DISEÑOS EXPERIMENTALES APLICANDO ANOVA. HOMOGENEIDAD / HETEROGENEIDAD. PARTE III.

1. Introducción

Como se indicó en las Partes I y II, el uso de ANOVA en la validación de métodos de calibración y ensayo es crucial para garantizar la calidad y la confiabilidad de los resultados. Además de su aplicación en la verificación de métodos, ANOVA juega un papel importante en determinar la homogeneidad o heterogeneidad de los productos evaluados. Este análisis puede interpretarse según las condiciones y el proceso productivo del producto al cual se aplica el diseño experimental.

Para abordar este tema, se plantearán dos trabajos experimentales:

- ▶ El primero está orientado a establecer la homogeneidad de un Material de Referencia en cuanto a su valor de Conductividad Eléctrica (CE).
- ▶ El segundo está enfocado en determinar la heterogeneidad de un producto con relación a su contenido de humedad.

1.1. Desarrollo experimental:

1.1.1. Trabajo N° 1. Homogeneidad:

En el proceso productivo de un Material de Referencia en Conductividad Eléctrica, se desea que el embotellado final presente homogeneidad entre las diferentes submuestras (botellas) pertenecientes a un mismo lote. Se evaluó un lote de producción dividido en 40 botellas de 500 ml cada una.

Para evaluar la homogeneidad, se tomaron, diez botellas, evaluando la conductividad eléctrica por triplicado en cada botella. De esta manera, se obtuvo un diseño experimental de diez periodos con tres repeticiones.

El análisis de varianza de un factor se ejecutó, sobre los resultados mostrados en la siguiente tabla:

Tabla N° 1. Resultados obtenidos en la determinación de la CE:

	Repeticion 1 mS/cm	Repeticion 2 mS/cm	Repeticion 3 mS/cm
Periodo 1	14.13	14.13	14.13
Periodo 2	14.12	14.12	14.15
Periodo 3	14.12	14.13	14.15
Periodo 4	14.14	14.12	14.12
Periodo 5	14.12	14.13	14.14
Periodo 6	14.12	14.13	14.14
Periodo 7	14.12	14.13	14.14
Periodo 8	14.12	14.12	14.13
Periodo 9	14.12	14.12	14.13
Periodo 10	14.12	14.12	14.14

1.1.2. Trabajo N° 2. Heterogeneidad:

En este caso, se evaluó la humedad del maíz precocido y molido para la venta, donde la humedad no debe exceder el 14% (especificación mono-lateral) para evitar la proliferación de hongos y garantizar la calidad y el valor comercial del maíz.

El proceso evaluado produjo cien presentaciones de un mismo lote en envases de 20 kg. Para evaluar la heterogeneidad del producto en cuanto a su humedad, se tomó el 10% del total de envases, para estimar la determinación de la humedad por triplicado en cada envase. De esta manera, se obtuvo un diseño experimental de diez periodos con tres repeticiones.

El análisis de varianza de un factor se ejecutó sobre los resultados mostrados en la siguiente tabla:

Tabla N° 2. Resultados obtenidos en la determinación de la humedad:

	Repeticion 1 mS/cm	Repeticion 2 mS/cm	Repeticion 3 mS/cm
Periodo 1	12.03	12.04	12.01
Periodo 2	12.01	12.02	12.02
Periodo 3	12.05	12.03	12.03
Periodo 4	12.98	12.91	12.62
Periodo 5	11.69	11.62	11.67
Periodo 6	11.62	11.62	11.64
Periodo 7	11.69	11.63	11.68
Periodo 8	12.04	12.03	12.09

1.1.3. Cálculo e interpretación de resultados:

Aplicando el análisis de varianza de un factor a los resultados mostrados en las Tablas N° 1 y N° 2, se obtienen los resultados reflejados en la siguiente tabla:

Tabla N° 3. Resultados obtenidos por análisis ANOVA:

Parámetro	Trabajo N° 1	Trabajo N° 2
F. Calculado	0.269841	69,74936061
F. Crítico	2.392814108	2,3928141
Valor de P	0,974664296	0,956618509
Valor promedio	14.13 mS/m	11.87 %
Mediana	14.13 mS/m	12.01%

Para el Trabajo N° 1, las diferencias existentes entre grupos son atribuibles al azar (F calculado menor que F crítico). En el caso del Trabajo N° 2, existen diferencias significativas entre grupos (F calculado mayor que F crítico).

En ambos casos, la distribución es normal, ya que el valor de P es mayor que 0.05. Se observa también la coincidencia o proximidad del valor promedio y la mediana.

Tabla N° 4. Varianza entre grupos y dentro de grupos:

Parámetro	Trabajo N° 1	Trabajo N° 2
Promedio de los cuadrados dentro de grupos	0.000116667	0,009123333
Promedio de los cuadrados entre grupos.	3.14815E-05	0,636346667
Factor de agrupamiento S _{bb} 2.	-2.83951E-05	0,209074444

La varianza dentro de grupos equivale a la varianza por repetibilidad. Se espera que la diferencia entre la varianza dentro de grupos y la varianza entre grupos, dividida por el número de repeticiones, sea positiva o como valor mínimo cero. De lo contrario, la varianza por factor de agrupamiento (S_{bb}2) sería un número imaginario.

Para el Trabajo N° 1, su proximidad a cero y negativa, indica que el material evaluado es homogéneo. La varianza motivada por el factor de agrupamiento no existe o no es significativa.

En el Trabajo N° 2, se observa una varianza por factor de agrupamiento positiva y significativa, indicando la existencia de un aporte a la dispersión de los valores diferentes a la repetibilidad.

En el caso del diseño planificado, este aporte es motivado por la heterogeneidad de la muestra evaluada. Según cómo se planifique el diseño, este aporte puede ser atribuido a: heterogeneidad de la muestra, reproducibilidad del método de ensayo o al aporte por muestreo (indirectamente también atribuido a la heterogeneidad).

Tabla N° 5. Repetibilidad y reproducibilidad:

Parámetro	Trabajo N° 1	Trabajo N° 2
Repetibilidad asociada al ensayo S _r	0.011 mS/m	0,096 %
Reproducibilidad S _r $S_R = \sqrt{(S_r)^2 + (S_{bb})^2}$	0.011 mS/m	0,47%

Para el Trabajo N° 1, los aportes por repetibilidad y reproducibilidad son iguales, ya que la muestra evaluada bajo las condiciones del diseño aplicado evidencia homogeneidad, indicando que las diferencias entre grupo son producto del azar.

En el Trabajo N° 2, el aporte por reproducibilidad es significativamente superior al aporte por repetibilidad, motivado por la heterogeneidad de la muestra evaluada.

Tabla N° 6. Incertidumbre:

Parámetro	Trabajo N° 1	Trabajo N° 2
Factor k, para un 95,45% y 29 Grados de Libertad	2.08997102	2.08997102
Incertidumbre	0.023 mS/m	0,98%

La incertidumbre obtenida para el primer caso (Trabajo N° 1) corresponde a la incertidumbre asociada al método de medición. Para el Trabajo N° 2, el aporte por el método de ensayo es significativamente menor que los aportes por heterogeneidad de la muestra.

Para el Trabajo N° 2, el valor límite de humedad permisible es de 14.00% como máximo. Se alcanzó un valor de 11.87%, considerando que el valor promedio y la mediana son muy próximas debido a la normalidad de la distribución. Por lo tanto, el resultado sería: 11.87% ± 0.98%.

Aplicando una regla de decisión conservadora, el producto cumple con la especificación. Si determinamos la probabilidad de cumplimiento, esta sería del 99.8%, con un riesgo asociado del 0.2%.

2. Conclusiones

Las siguientes conclusiones se basan en las disertaciones I, II y III:

La adopción de prácticas estadísticamente sólidas, como el uso adecuado de ANOVA y el seguimiento de recomendaciones normativas internacionalmente reconocidas, es fundamental para garantizar la calidad y fiabilidad en el laboratorio. Estas prácticas aseguran que los métodos de ensayo y calibración sean precisos, exactos y que los resultados sean válidos y reproducibles.

Los grados de libertad en el diseño ANOVA representan la cantidad de información independiente disponible y son vitales para calcular el estadístico F, determinando así la significancia de las diferencias observadas entre los grupos.

La variación por repetibilidad y reproducibilidad son componentes esenciales en la evaluación de la precisión de un método. La repetibilidad mide la consistencia de los resultados bajo las mismas condiciones (dentro de grupo), mientras que la reproducibilidad incluye la variación entre grupos.

La incertidumbre experimental refleja la variabilidad inherente en las mediciones, mientras que la incertidumbre expandida proporciona un intervalo más amplio que cubre un rango mayor de resultados posibles, con un nivel de confianza específico. Comparar estos dos tipos de incertidumbre permite a los laboratorios entender mejor la precisión de sus métodos y tomar decisiones informadas sobre su aplicabilidad y fiabilidad.

Es necesario considerar la diferencia entre grupos y, según la planificación del diseño, inferir o interpretar su impacto en la incertidumbre como:

- ▶ Aporte por reproducibilidad del método
Homogeneidad de la muestra o material evaluado.
- ▶ Heterogeneidad de la muestra o material evaluado.
- ▶ Heterogeneidad y su evidencia en el muestreo.

Cuando un análisis se ve influenciado por la homogeneidad del material evaluado, no puede ser considerada como una propiedad intensiva. Por tanto, el diseño aplicado y la heterogeneidad de la muestra evidenciada por la varianza del factor de agrupamiento (S_{bb}²) es un indicativo del impacto (varianza no atribuida a la repetibilidad del ensayo).

Aunque la medición de la propiedad en el proceso evaluado presenta un comportamiento normal, la incertidumbre estándar combinada asociada a esta distribución pueda ser superior a la incertidumbre estándar combinada del ensayo cuando el material

es heterogéneo en términos de la propiedad medida (diferencias significativas entre grupos).

Asumir que la incertidumbre del ensayo es igual a la incertidumbre de la evaluación del bulk de un material no tiene sustento metrológico y no corresponde a la verdad, a menos que se evidencie la homogeneidad del material evaluado.

Controlar la homogeneidad de un proceso productivo es indispensable cuando se trata de un Material de Referencia Certificado (MRC), pero también aporta mediciones confiables cuando se desean alcanzar valores límite permisibles, sin mencionar la maximización de la rentabilidad.

3. Referencias

Eurachem, EUROLAB, CITAC, Nordtest, & RSC Analytical Methods Committee. (2024). Validation of measurement procedures that include sampling: Supplement to "The fitness for purpose of analytical methods"; "Measurement uncertainty arising from sampling" (1st ed.)https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/VaMPIS_2024_EN_v1.pdf.

Eurachem, EUROLAB, CITAC, Nordtest, & RSC. (2019). Incertidumbre de medición derivada del muestreo: Una guía de métodos y enfoques (2nd ed., English; 1st ed., Spanish, 2021).https://eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/UfS_2019_P2_ES.pdf.

Eurachem, & CITAC. (2015). Cuantificación de la incertidumbre en medidas analíticas (3rd ed., English; 1st ed., Spanish).https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/STMU_2015_ES.pdf.

JCGM. (2008). Evaluación de datos de medición: Guía para la expresión de la incertidumbre de medida (1st ed., Spanish translation). Centro Español de Metrología.<https://www.cem.es/sites/default/files/gum20digital1202010.pdf>.



AREQUIPA:

Jirón Huánuco 204,
Semi Rural Pachacútec,
Cerro Colorado - Arequipa.

LIMA:

Calle Beta N° 147 - Urb. Parque de la Industria
y Comercio, Callao - Lima.

MOQUEGUA:

Pampas de San Antonio Mz. C-4B,
Lt. 18 Sector A - Moquegua.

Contáctanos:

