





**Métodos de análisis para la investigación,  
desarrollo e innovación (I+D+i) de  
procesos agrícolas y agroindustriales**



# Métodos de análisis para la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) de procesos agrícolas y agroindustriales

Ximena Cifuentes Wchima  
Lina María Jaramillo Echeverry  
Luis Miguel Mejía Giraldo  
Maritza Torres Barrero



Universidad La Gran Colombia  
Seccional Armenia  
2016



Esta publicación surge como un producto académico de los proyectos de investigación "Evaluación de antioxidantes como alternativas de durabilidad después del corte de alstroemeria aurantiaca" (Código 120), "Establecimiento de un sistema estadístico de predicción de precios de tomate chonto en fresco para los departamentos del Quindío, Caldas y Risaralda" (Código 118), "Diagnóstico de la orientación de investigación y desarrollo (I+D) y demanda tecnológica del sector agroindustrial en los departamentos del Quindío, Risaralda y Norte Del Valle del Cauca" y "Análisis multivariante de las condiciones de sostenibilidad del sector productor de plátano del departamento del Quindío", el cual fue seleccionado como parte de la Convocatoria de Investigación 2015 de apoyo a los grupos de investigación en consolidación a través de proyectos, auspiciada por la Dirección de Investigaciones de la Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia.

El contenido de esta obra no compromete el pensamiento institucional de la Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia, corresponde al derecho de expresión de los autores. Todos los derechos reservados. Puede reproducirse libremente para fines no comerciales.

Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia.

Cifuentes Wehima Ximena, Jaramillo Echeverry Lina María, Mejía Giraldo Luis Miguel, Torres Barrero Maritza.

Métodos de análisis para la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) de procesos agrícolas y agroindustriales

Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia. Dirección de Investigaciones. Departamento de Comunicaciones, Mercadeo y Publicaciones – Editorial Universitaria, 2016.

p. 161

Incluye referencias bibliográficas

ISBN: 978-958-8510-61-3

1. Métodos de investigación. 2. innovación científica. 3. estadísticas científicas. 4. procesos agroindustriales. 5. enseñanza de las ciencias.

CDU. 630

Reservados todos los derechos  
© Universidad La Gran Colombia Seccional  
Armenia

Primera edición: Armenia, Q.  
Julio de 2016

ISBN: 978-958-8510-61-3

Número de ejemplares: 100

Editorial: Universidad La Gran Colombia  
Seccional Armenia

Dirección de Investigaciones

Editor: Ximena Cifuentes Wehima.

Grupo de Investigación:

Agroindustrialización (GIDA).

Revisión de estilo: Juan Manuel Peña.

Diseño de carátula: Carolina Aguilar L.

Imagen de Portada:

Diagramación: Angie Tatiana Gutierrez

Ospina

Impresión: Optigraf

Universidad La Gran Colombia Seccional  
Armenia

Dirección de Investigaciones

produccionbibliografica@ugca.edu.co

Carrera 14 # 7 – 46. Teléfono: 7462646 ext.  
216

<http://www.ugca.edu.co>

Armenia, Quindío.

## Autoridades Universitarias

### Bogotá

Dr. José Galat Noumer  
Presidente

Dr. Eric De Wasseige  
Rector

Dra. Blanca Hilda Prieto De Pinilla  
Vicerrectora Académica

Dra. María Del Pilar Galat  
Vicerrectora Administrativa y Financiera

Dr. Carlos Alberto Pulido Barrantes  
Secretario General

### Armenia

Dr. Jaime Bejarano Alzate  
Rector Delegatario

Dra. Bibiana Vélez Medina  
Vicerrectora Académica

Dr. Jorge Alberto Quintero Pinilla  
Vicerrector Administrativo y Financiero

Dra. Ana Milena Londoño Palacio  
Secretaria General

Dra. María Angélica Ortiz Salazar  
Directora de investigaciones



Dedicado a quienes su proyecto de vida gira en torno a la ingeniería orgullosamente grancolombiana, ¡nuestros estudiantes!

### **Agradecimientos**

Los autores manifiestan los más sinceros agradecimientos a la Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia en cabeza del señor rector, doctor Jaime Bejarano Alzate, la vicerrectora, doctora Bibiana Vélez Medina y la directora de investigaciones, doctora María Angélica Ortiz Salazar, porque gracias a su permanente apoyo y estímulo hemos consolidado la presente obra, producto de espacios de reflexión, investigación y construcción colectiva de conocimiento.



# Índice

Prólogo.....	19
Introducción.....	23
1. Investigación, desarrollo y entornos de construcción de conocimiento.....	27
1.1. El aula como espacio de innovación.....	31
2. Aspectos de fiabilidad y validez en la estructuración de pruebas experimentales en procesos de investigación inductiva.....	35
2.1 Fundamentos en la consolidación e integración de diseños experimentales fiables y válidos.....	36
3. Sistemas de gestión y el aporte a las investigaciones.....	43
3.1. La gestión en los laboratorios.....	48
4. Diseños experimentales, el análisis de los procesos de investigación inductivos para agroindustria.....	51
4.1. Diseño experimental completamente aleatorizado.....	51
4.2. Diseño experimental en bloques al azar.....	57
4.3. Pruebas comparativas.....	61
4.4. Contrastes ortogonales.....	66
4.5. Diseño experimental en cuadrado latino.....	69
4.6. Diseño experimental en arreglo factorial.....	74
4.7. Diseños experimentales complejos (longitudinales en el tiempo).....	83
4.8. Diseño experimental jerárquico o anidado.....	86
4.9. Caso de procesos de investigación experimental en poscosecha de flores de corte.....	103
5. Aspectos de gestión de conocimiento requeridos para el tránsito entre la investigación experimental y la posterior gestión administrativa.....	109
5.1. Proceso de desarrollo.....	110
5.2. Momentos metodológicos del proceso de gestión del conocimiento.....	110

5.3. Estado actual y principales actividades desarrolladas.....	111
5.4. Proceso de investigación y gestión del conocimiento.....	112
6.Gestión administrativa para la competitividad.....	115
6.1. Gerencia y gerencia estratégica.....	115
6.2. La organización, definiciones básicas: visión, misión, objetivos, estrategias.....	116
6.3. Herramientas para el establecimiento de la estrategia competitiva.....	118
7.Prospectiva.....	131
7.1.Conceptos y caso aplicado a la agroindustria no alimentaria de flores.....	131
7.2. Caso de aplicación de prospectiva orientado al análisis de agroindustrias alimentarias.....	138
<b>Bibliografía</b> .....	147
Apéndices	
1. Bases para la transformación de datos.....	151
2 Distribución normal estándar.....	153
3. Puntos porcentuales de la distribución t-student.....	154
4. Puntos porcentuales de la distribución F.....	154
5 Puntos porcentuales de la distribución Chi cuadrado.....	156
6. Rangos significativos para Tukey.....	157
7. Valores críticos de la prueba del signo.....	158
8. Valores críticos para la prueba de rango con signo de Wilcoxon.....	159
9 Valores críticos para la prueba de rango con signo de Wilcoxon.....	159
10 Valores críticos para la prueba de rango con signo de Wilcoxon (continuación).....	160

## Índice de tablas y figuras

Tabla 1. Momentos fundamentales de la innovación.....	28
Tabla 2. Fases del proceso de innovación.....	29
Tabla 3. Análisis de varianza para diseño completamente aleatorizado... ..	53
Tabla 4. Ejemplo de efecto de sustratos sobre producción.....	54
Tabla 5. Análisis de varianza para diseño completamente aleatorizado balanceado, ejercicio resuelto.....	55
Tabla 6. Datos de ejemplo de resistencia.....	55
Tabla 7. Análisis de varianza para diseño completamente aleatorizado desbalanceado, ejercicio resuelto.....	56
Tabla 8. Análisis de varianza para diseño en bloques al azar.....	58
Tabla 9. Datos de ejemplo de producción en función de máquinas y agroindustrias.....	59
Tabla 10. Análisis de varianza para diseño en bloques al azar, ejercicio resuelto.....	60
Tabla 11. Datos de ejemplo de producción en función de sustratos.....	62
Tabla 12. Pruebas de comparación con base en Tukey, con igual número de repeticiones.....	64
Tabla 13. Datos para prueba de comparación cuando el número de repeticiones es desbalanceado.....	65
Tabla 14. Prueba comparativa de Tukey con diferente número de repeticiones.....	66
Tabla 15. Datos para ejemplo de contrastes ortogonales.....	67
Tabla 16. Análisis de varianza con contrastes ortogonales.....	68
Tabla 17. Arreglo secuencial de diseño en cuadrado latino.....	70
Tabla 18. Arreglo circular de diseño en cuadrado latino.....	71
Tabla 19. Análisis de varianza para diseño en cuadrado latino.....	71
Tabla 20. Ejemplo de diseño en cuadrado latino.....	72
Tabla 21. Datos transformados para cuadrado latino.....	73
Tabla 22. Análisis de varianza para diseño en cuadrado latino, ejercicio resuelto .....	74

Tabla 23. Tipos de arreglos factoriales.....	75
Tabla 24. Ejemplo de niveles.....	76
Tabla 25. Arreglos factoriales comunes de índole asimétrica.....	77
Tabla 26. Análisis de varianza para diseño en arreglo factorial.....	79
Tabla 27. Ejemplo de diseño en arreglo factorial.....	81
Tabla 28. Análisis de varianza para diseño en arreglo factorial, ejercicio resuelto.....	83
Tabla 29. Análisis de varianza para complejo longitudinal en el tiempo.....	84
Tabla 30. Datos para diseño longitudinal en el tiempo .....	85
Tabla 31. Análisis de varianza para complejo longitudinal en el tiempo, ejercicio resuelto.....	86
Tabla 32. Análisis de varianza para diseño jerárquico o anidado.....	88
Tabla 33. Datos para ejemplo de diseño jerárquico.....	89
Tabla 34. Análisis de varianza para diseño jerárquico o anidado, ejercicio resuelto.....	90
Tabla 35. Datos para ejemplo de correlación de Spearman.....	93
Tabla 36. Datos con variables codificadas .....	93
Tabla 37. Datos de ejemplo de prueba de signo.....	95
Tabla 38. Análisis de signos.....	95
Tabla 39. Datos de ejemplo de prueba de rango de Wilcoxon.....	97
Tabla 40. Registro de datos con sus respectivos signos.....	98
Tabla 41. Datos de ejemplo de prueba de Wilcoxon para la comparación de observaciones pareadas.....	100
Tabla 42. Diferencias existentes entre ambas condiciones.....	101
Tabla 43. Registro de datos para prueba de Kruskal Wallis.....	102
Tabla 44. Codificación de datos y sumatoria de rangos.....	103
Tabla 45. Estimación de medias, confiabilidad 95 % para variable estado.....	105
Tabla 46. Análisis de varianza para estado transformado.....	106
Tabla 47. Pruebas de rangos múltiples para estado transformado por tratamiento.....	106

Tabla 48. Matriz de marco lógico.....	116
Tabla 49. Estructura comparativa por factor, matriz de perfil competitivo.....	119
Tabla 50. Aplicación estructura comparativa por factor, matriz de perfil competitivo.....	119
Tabla 51. Matriz DOFA (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Oportunidades).....	123
Tabla 52. Estructura de la matriz PEEA.....	128
Tabla 53. Características de Entorno/VARIABLES.....	134
Tabla 54. Matriz de influencias.....	135
Tabla 55. Matriz de influencia, dependencia para el estudio.....	135
Tabla 56. Caracterización de variables según los cuadrantes.....	137

## **Figuras**

Figura 1 Fases <i>Desing thinking</i> .....	32
Figura 2. Parámetros de trazabilidad inicial.....	36
Figura 3. Los objetivos direccionan los diseños.....	37
Figura 4. Estandarización de variables y procesos.....	39
Figura 5. Análisis de datos para convertirse en información.....	40
Figura 6. Procesos identificados en los sistemas de gestión.....	45
Figura 7. Diagrama de árbol.....	76
Figura 8. Modelo de diseño jerárquico o anidado.....	87
Figura 9. Diseño anidado para estudio de biomasa.....	89
Figura 10. Tipos de correlaciones.....	92
Figura 11. Prueba comparativa de Tukey para variable estado transformado.....	106
Figura 12. Proceso de Investigación.....	112
Figura 13. Fases de gestión del conocimiento.....	113
Figura 14. Matriz de las cinco fuerzas competitivas (Porter, 1991).....	120
Figura 15. Matriz de las cinco fuerzas competitivas aplicadas a sector floricultor.....	121

Figura 16. Matriz interna-externa.....	124
Figura 17. Matriz interna-externa aplicada a sector productor de flores.....	125
Figura 18. Matriz de la gran estrategia.....	125
Figura 19. Formulación de la matriz de la gran estrategia, compañía Bella Flora Ltda.....	126
Figura 20. Matriz de posición estratégica.....	126
Figura 21. Escenarios posibles en análisis estratégico.....	127
Figura 22. Perfil competitivo para la empresa productora de flores Bella Flora Ltda.....	128
Figura 23. Matriz de impacto para sector productor de flores.....	136
Figura 24. Análisis de clústeres sector aromáticas.....	141
Figura 25. Análisis de problemas sector aromáticas.....	142
Figura 26. Análisis de clúster, sector cárnico.....	143
Figura 27. Análisis de problemas sector cárnico.....	144
Figura 28. Análisis de clústeres, sector panificación.....	145





# Prólogo

En la actualidad, la innovación tecnológica, la investigación y desarrollo (I+D) están basadas en herramientas estadísticas estructuradas para no solo analizar, sino también para apoyar científicamente la elaboración nuevos productos u optimizar procesos, como estrategias fundamentales en la diversificación o expansión empresarial. Por lo anterior, se ha establecido el presente libro desde tres perspectivas de análisis estratégico para la investigación y desarrollo, el diseño de experimentos enfocados hacia la investigación y la optimización de procesos agrícolas y agroindustriales, así como el análisis estratégico de proyectos y la prospectiva, los cuales están planteados para que el lector adquiera los criterios fundamentales y construya herramientas básicas de información práctica y aplicada al interior de las diferentes empresas de base tecnológica.

Cuando el ingeniero (y el no ingeniero con afinidad a la agroindustria) que de manera directa o indirecta se correlaciona a ciencias agrícolas y agroindustriales aprende sobre estos métodos aplicados desarrolla competencias asociadas con los siguientes aspectos:

- Planificar y proyectar investigaciones en cuanto a aspectos operativos de análisis de procesos.
- Construir sábanas de datos adecuadas para su investigación de producto u operación.

- Procesar la información recolectada en campo e interpretarla con un sentido crítico y analítico.
- Generar conocimiento a partir de la información que recolecta, procesa y analiza.
- Fundamentalmente, tomar decisiones con base en lo que analiza de su área de actuación, sea esta producción, gerencia, mercadeo, entre otros.

Es de resaltar que el presente texto se divide en dos momentos –si es adecuado llamarlo así–, el primer momento está consignado en los primeros cuatro capítulos donde se hace énfasis en los aspectos propios de gestión de la investigación y desarrollo soportado en procesos experimentales, mientras que el segundo momento, concerniente a los capítulos 4 a 7, allí se proyecta hacia espacios de innovación soportadas en análisis estratégico y prospectivo complementario a las dinámicas experimentales.

Finalmente, la presente obra es producto del trabajo colectivo en diferentes espacios académicos e investigativos al interior de los grupos de investigación de la Facultad de Ingenierías de la Universidad La Gran Colombia seccional Armenia: Agroindustrialización GIDA y Gerencia de la Tierra, siempre de cara hacia la construcción de un conocimiento tendiente hacia el crecimiento y desarrollo de la sociedad desde el soporte del ingenio, como lo llamamos los autores, ingeniería orgullosamente grancolombiana.





# Introducción

En la actualidad, la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) están basadas en herramientas estructuradas para, no solo analizar, sino también, apoyar científicamente la elaboración de nuevos productos u optimizar procesos, como estrategias fundamentales en la diversificación o expansión empresarial. Por esta razón, se ha elaborado el presente libro de métodos de análisis enfocado hacia la investigación y la optimización de procesos agrícolas y agroindustriales, el cual ha sido pensado para que el lector se sumerja en los criterios fundamentales que en este texto se plantean y diseñe herramientas básicas de información práctica y aplicada al interior de su espacio de actuación.

Ya que, con una visión de investigador y de equipo interdisciplinario es necesario estudiar el comportamiento de sistemas ya sean estos abiertos o cerrados, bajo unas condiciones y pruebas experimentales determinadas, resaltándose entonces la necesidad de la aplicación de diseños experimentales para determinar el comportamiento promedio de tales pruebas; apuntando hacia la generación de información pertinente con respecto a aspectos propios de los productos o procesos bajo estudio.

La aplicación y difusión de herramientas de análisis, sean estas de diseño de experimentos o de otra índole en la investigación y a través de un conjunto de técnicas existentes de un proceso o sistema en particular. Además, poder inferir mediante experimentación el comportamiento de un conjunto de tratamientos que se tengan y la posible diferencia estadística entre ellos.

El diseño de proyectos de investigación en función de la innovación en los países desarrollados está posicionado como base para adoptar nuevas técnicas que propenden por el mejoramiento de la calidad de vida; recordando que el

propósito de la ingeniería es suministrar una base objetiva para el análisis de problemas en los que la información con la que se cuenta se aparta de la causalidad exacta.

Es por lo anteriormente expuesto que, se ha ideado un sistema lógico general de razonamiento inductivo aplicable a datos de esta naturaleza. A su vez; el presente libro es aplicable en diferentes áreas como control de calidad, procesos productivos, bacteriología, análisis de índole agrícola y pecuario, biotecnología, entre otros, ya que se requiere preparar investigadores que apliquen con el criterio adecuado tales herramientas, dado que su certeza radica en la selección del diseño a partir de la naturaleza de lo que se va a investigar.

Es de resaltar lo afirmado por Box, Hunter y Hunter (1988): "Cada diseño contiene entonces un grupo de experimentos", partiendo de esta afirmación se aprecia que la investigación experimental sobre un proceso o producto determinado no termina con la implantación de un diseño específico, sino que es el comienzo para el entendimiento de la dinámica de procesos de ingeniería soportada en métodos estadísticos, entre otros, sean estos experimentales, de innovación, de gestión y desarrollo a escala de laboratorios o bajo una mirada desde la prospectiva, así como espacios de análisis estratégico que de manera directa atañen al quehacer del ingeniero y que le permiten visualizar y priorizar criterios de interpretación, análisis, así como de proposición ingenieril que impliquen una priorización sustentada y argumentada, siendo así, intelectualmente estimulante.

Es por lo mencionado se ha consolidado el presente libro, producto de procesos investigativos de los autores, el cual brinda al lector la posibilidad de comprender los fundamentos de investigación, desarrollo e innovación, explorar el diseño de experimentos, definir aspectos de investigación fundamentales y finalmente realizar análisis estratégicos y prospectivos para la toma de decisiones en un mundo que requiere cada vez más de una construcción colectiva de y desde el conocimiento.





# 1. Investigación, desarrollo y entornos de construcción de conocimiento

Actualmente se aprecia un crecimiento en cuanto al enfoque y promoción de empresas orientadas hacia la producción de bienes y servicios basados en conocimiento, enfocadas hacia investigación y desarrollo y generadoras de altos márgenes de rentabilidad dado su potencial para sustituir importaciones y competir en los mercados externos, lo cual las hace diferentes a las empresas tradicionales.

Estas empresas, conocidas como EBT (empresas de base tecnológica) se han consolidado en áreas como biotecnología, mecánica, informática, entre otros, y originadas en las llamadas *Spin-offs* de proyectos llevados a cabo por universidades en conjunción con la empresa privada, la cual ha ido participando activamente en la consolidación de esta tipología de nuevas empresas.

Sin embargo, tanto la investigación científica, así como la tecnológica, se consolidan actualmente bajo dinámicas de gestión sustentadas en proyectos sólidamente estructurados, y se basa en el ingreso de nuevos productos o procesos que conllevan incluso a cambios culturales en la forma en que se perciben y consumen las cosas, así como de los procesos logrados con base en la construcción de conocimiento y con un fuerte apoyo de la investigación experimental. Autores como Weissbluth, Cadena y Solleiro (1988) han definido a la innovación tecnológica como un proceso soportado en la conjugación de necesidades en concordancia oportunidades técnicas, conduciendo hacia la introducción de nuevos paquetes tecnológicos que giran en torno a la modificación de productos o procesos para su posterior comercialización.

Otra manera de definir la innovación tecnológica es la planteada por Nelson (1993), quien afirma que es un cambio que requiere un considerable grado de imaginación; generando una ruptura con las formas establecidas de hacer las cosas, conllevando a la creación de nuevas capacidades, siendo así una de raíz económica y social.

En el proceso de innovación o de cambio tecnológico existen tres momentos o estados fundamentales, tal como lo indica Camacho (1998) en la tabla 1.

**Tabla 1.** Momentos fundamentales de la innovación

<b>Estado o momento</b>	<b>Definición</b>
La Invención	Creación de una idea potencialmente generadora de beneficios comerciales pero no necesariamente realizada de forma concreta.
La innovación	Aplicación comercial de una idea; se trata de un hecho comercial y social que crea riqueza pero no conocimiento.
La difusión	Diseminación en la sociedad de la utilización de una innovación; es el estado en el cual se ve afectada la economía, obteniendo los beneficios de la innovación.

**Fuente:** Camacho (1998).

Camacho (1998) define seis fases que conforman el referido proceso de innovación tecnológica como se indica en la tabla 2, donde se denota claramente la evolución de la innovación desde la idea, pasando por los respectivos procesos investigativos y desembocando finalmente en la fase de comercialización.

**Tabla 2.** Fases del proceso de innovación.

	<b>Definición</b>
<b>Idea</b>	Base del proceso de innovación; para generarla es necesaria la información y para implantarla se requiere la decisión de los responsables de la empresa y de su financiación.
<b>Investigación</b>	Estudio original y planificado que se emprende con la finalidad de obtener conocimientos nuevos.
<b>Desarrollo tecnológico</b>	Ensayo y elaboración de una aplicación potencial de un modelo o de una serie de especificaciones que demuestren la practicabilidad física de un nuevo proceso o producto.
<b>Elaboración de prototipo</b>	Se persigue conocer la practicabilidad económica y física de utilizar realmente un modelo o unas especificaciones.
<b>Producción</b>	Estructuración y montaje de nuevos medios de producción, seguido del ensayo y modificación de los mismos hasta que resulten posibles las operaciones a ritmo normal. En esta fase la normalización, la homologación y la garantía de la calidad tienen una importancia fundamental.
<b>Comercialización</b>	Puesta a disposición de los consumidores del nuevo producto, a través de determinados canales de distribución y puntos de venta.

**Fuente:** Camacho (1998)

Es de resaltar que la innovación orientada hacia la tecnología acarrea efectos económicos sobre el crecimiento y desarrollo empresarial, dado el estímulo de la demanda y por ende de la respectiva producción coadyuvando a la productividad y competitividad. Es de agregar que también se puede lograr mediante una reducción de costos de producción, sean estos fijos o variables, la optimización de insumos y procesos con base en aparición de productos de mayor calidad, sumado al estímulo al empleo (y el replanteamiento del mismo), creándose nuevas posibilidades de formación técnica y tecnológica de las personas, ya que aumenta la demanda de nuevas formas de empleo técnico soportado en nuevos conocimientos.

Por otro lado, la innovación enfocada hacia la tecnología apoyada en investigación es entonces, la creación y consolidación de nuevos productos o procesos que influyen en última instancia en el mercado y sus respectivas dinámicas, en función de las necesidades sentidas de nichos específicos, lo cual es parte esencial de la gestión empresarial actual.

Sin embargo, al aplicar criterios de investigación científica y tecnológica en el contexto organizacional, se propende por la adaptación que no suele ser drástica,

dada la característica de universalidad de los métodos de investigación, como son aquellos de índole inductiva, sobre los cuales se fundamenta el diseño experimental, aunque estos implican algunas reglas como las siguientes:

1. Incorporar la investigación en el entorno empresarial a las reglas del diseño experimental, con base en las repeticiones, la aleatorización, efectos fijos y aleatorios, aspectos íntimamente ligados a los métodos estadísticos de análisis de información.

2. Identificar las suposiciones y tratarlas como hipótesis, con base en ejercicios investigativos claramente enfocados desde la perspectiva empírico – analítica.

3. Medir y reportar bajo monitoreo científico los efectos del manejo de los datos tomados y vistos como experimentales.

4. Aspectos ligados íntimamente a la naturaleza del diseño como son:

- Cuestionamiento.
- Número de repeticiones.
- Azar.
- Control.
- Diseño en función de los objetivos.
- Eficiencia.
- Exactitud y precisión.
- Fiabilidad y validez.
- Naturaleza de los datos en función de los supuestos estadísticos en el análisis de varianza.
- Selección adecuada de las variables y análisis de los resultados.

El diseño experimental se clasifica en dos formas:

- Experimentos de laboratorio: el investigador puede regular las variables que puedan afectar directamente al experimento.
- Experimentos de campo: en este tipo de experimento, el investigador generalmente manipula una variable solamente.

Aunque en el entorno empresarial se deben determinar de manera clara las necesidades de la organización, ya sean estas en función de la optimización de procesos, la creación o mejoramiento de un producto, siendo el diseño y análisis de experimentos herramientas fiables que soportan la investigación y el desarrollo, especialmente en empresas de base tecnológica.

## 1.1. El aula como espacio de innovación

Los procesos de innovación son el resultado de ideas creativas con aplicaciones formales que se han convertido en exitosas al ser validadas en un mercado específico. Estos procesos pueden ser empíricos, pero generalmente requieren seguir un modelo o metodología que les permitan estandarizar un producto o servicio, dado que innovar es una actividad compleja que incluye varias fases (generación de ideas, diseño y desarrollo, producción, comercialización), por ende, se facilita al utilizar una ruta ya probada.

Es por esto, que las metodologías de innovación desempeñan un papel importante y de su dominio y experticia depende apropiárselas eficientemente sin retrasar el proceso. Actualmente existe una gran cantidad de metodologías, entre las cuales se destacan:

- *Lean startup*: especializada en la creación de nuevos productos, con base en el criterio que sustenta: “las *startups* que triunfan son aquellas que iteran las suficientes veces antes de quedarse sin recursos”, y por tanto propone una identificación de necesidades con los clientes y el uso de metodologías ágiles para el desarrollo del producto (Ries, 2011).
- *Social media for innovation effort*: La cual está orientada a la innovación abierta apoyada en herramientas de redes.
- *Reverse innovation*: es un concepto interesante para entender lo que significa el desarrollo de los mercados emergentes, antes de escalar hacia un mundo de productos ricos, y poder así desbloquear un mundo de oportunidades de negocio (Govindarajan y Trimble, 2012)
- *Triz* (Teoría para la resolución de problemas inventivos): permite simplificar técnicamente los productos y los procesos, ganando en costes, fiabilidad y vida media; resolver conflictos y contradicciones técnicas sin necesidad de soluciones intermedias ni de optimización del compromiso; concebir de forma rápida, las próximas generaciones de productos y procesos, reduciendo el ciclo de desarrollo partiendo inicialmente de un concepto correcto (Rovira, 2004).

- *Design thinking*: centrada en el trabajo colaborativo y la exploración del contexto. Cuenta con cinco fases que permite la creación o modificación de procesos, productos o servicios, de forma creativa (Brown, 2008).

### **Desing thinking en el aula**

La metodología *Design Thinking* ha sido desarrollada en la Universidad de Stanford y validada por múltiples empresas en el mundo con innovaciones reales en productos que ya están en el mercado, así como incorporada en los procesos de enseñanza al interior del aula en universidades y centros de investigación. Su estructura genera dinámicas de participación activa en los integrantes del grupo, y motiva a la interacción con posibles usuarios y no usuarios, en escenarios obvios y no tan obvios, con el propósito de estimular la creatividad y aportar positivamente al proceso de innovación.

*Design thinking* presenta cinco fases: *Discovery*, *Interpretation*, *Ideation*, *Experimentation* y *Evolution* (figura 1), además de especificar las actividades que debe hacer el equipo en cada una de ellas, ofrece las hojas de trabajo que sirven de guía para recopilar las evidencias y tener de manera organizada la información del proyecto. Su propuesta de evidencias es visual, e incluye desde notas *post it* para las ideas, fotos, registros de entrevistas y observaciones, hasta esbozos a mano de prototipos; todos estos elementos ubicados en un espacio destinado especialmente para el proyecto y las reuniones periódicas de sus integrantes.

**Figura 1** Fases *Desing thinking*

PHASES				
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
DISCOVERY	INTERPRETATION	IDEATION	EXPERIMENTATION	EVOLUTION
				
<b>I have a challenge. How do I approach it?</b>	<b>I learned something. How do I interpret it?</b>	<b>I see an opportunity. What do I create?</b>	<b>I have an idea. How do I build it?</b>	<b>I tried something new. How do I evolve it?</b>
STEPS				
1-1 Understand the Challenge	2-1 Tell Stories	3-1 Generate Ideas	4-1 Make Prototypes	5-1 Track Learnings
1-2 Prepare Research	2-2 Search for Meaning	3-2 Refine Ideas	4-1 Get Feedback	5-2 Move Forward
1-3 Gather Inspiration	2-3 Frame Opportunities			

Fuente: *Desing thinking for educators*

La incorporación de conceptos y metodologías de innovación en el aula promueven la creatividad, despiertan interés en los jóvenes y permiten el desarrollo de competencias investigativas que marcarán la diferencia en un contexto laboral, dado que la tendencia mundial está orientada al desarrollo de productos innovadores como respuesta a las necesidades de un mercado cada día más exigente.



## **2. Aspectos de fiabilidad y validez en la estructuración de pruebas experimentales en procesos de investigación inductiva**

La dinámica investigativa en la actualidad se caracteriza por una tendencia creciente hacia la creación, desarrollo y consolidación de empresas productoras de bienes y servicios, con un alto valor agregado de conocimientos y está fuertemente influenciada por las funciones de investigación y desarrollo (I+D). Sin embargo, cuando se trabaja con base en investigación experimental, la calidad de investigación se convierte en un factor trascendental, dado que se definen los derroteros a seguir en aras de definir una hoja de ruta específica para procesos y procedimientos adecuados y que lleven a una base real de conocimiento y aplicación con posibilidad de protocolizar (Regattieri, Gamberi y Manzini, 2007), lo cual es corroborado por Ke Zhang, Yi Chai, Simon X. Yang, Daolei Weng (2011), quienes afirman que las falencias existentes en dicha calidad comprometen seriamente los procesos y desarrollos en diferentes aspectos al realizar estudios en cadenas de abastecimiento y por ende a la no generación de valor.

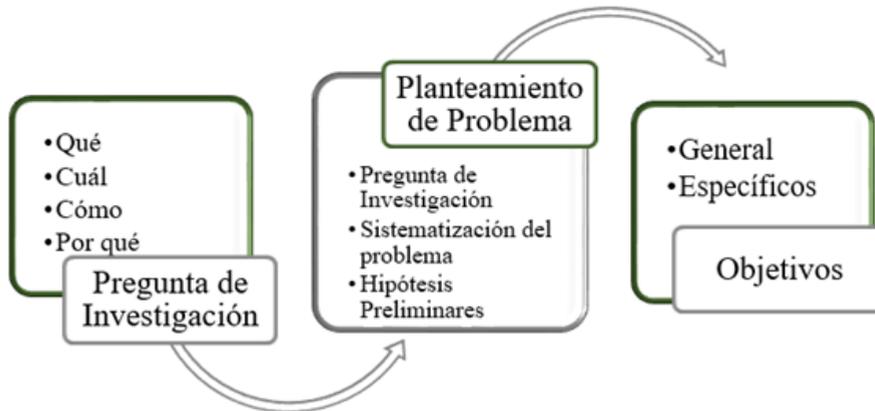
Por otro lado, Tamayo, Monteiro y Sauer (2009), demostraron la necesidad de definir criterios de calidad en procesos de ingeniería y en escalas industriales por medio del uso adecuado de la información a través de rutas críticas de línea base. Para el caso de ingeniería, se ha dado la necesidad de establecer parámetros de calidad con soporte de trazabilidad con base en fundamentos estocásticos a consolidar al interior de la investigación en el entorno inductivo, donde los fundamentos del diseño experimental cobran vital relevancia es aspectos como la potencia del diseño con base en el número de repeticiones, la aleatorización de muestras, unidades muestrales y tratamientos, efectos fijos, aleatorios, colinealidad y estocasticidad, entre otros aspectos.

## 2.1 Fundamentos en la consolidación e integración de diseños experimentales fiables y válidos.

### Fundamento teórico y contextual determinación de parámetros iniciales

El comienzo de la investigación experimental requiere la adecuada formulación de hipótesis, planteamiento del problema y objetivos de la investigación, donde se comienzan a evidenciar e Identificar las suposiciones y tratarlas como hipótesis (figura 2).

Figura 2. Parámetros de trazabilidad Inicial



Fuente: Cifuentes y Mejía, 2012

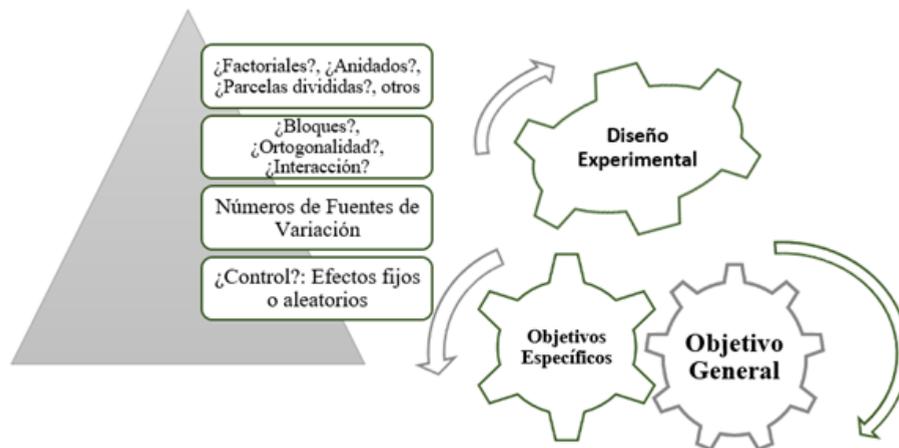
En este caso es fundamental la claridad de lo que se necesita saber en el proceso investigativo; debido a que en esta fase la inquietud que atañe al investigador abre espacio hacia lo que se necesita experimentar, lo cual es corroborado por Little y Hills (1989), Montgomery (2003), y por Box, Hunter y Hunter (1988), ya que desde la misma pregunta de investigación se debe definir su alcance, como se aprecia en la figura 2, para posteriormente pasar a la formulación del problema en el que las hipótesis emergen de una reflexión profunda y sometidas a debate para saber hacia dónde y cómo orientar los procesos investigativos, además de definir, por tanto, los objetivos de la investigación experimental naciente.

## Fundamento estructural, de los objetivos a la consolidación del diseño experimental

Esta fase implica una profunda comprensión de lo que requiere saber el investigador y cómo a través de un diseño experimental específico se alcanza a resolver el proceso de investigación inductivo. En esta fase, Restrepo (2007) planteó una metodología soportada en diagramas de estructuras donde el método facilita entender el diseño de clasificación experimental y las hipótesis asociadas con dicho modelo, es una representación visual que permite entender las relaciones o interacciones existentes entre los factores seleccionados por el investigador.

Para corroborar lo planteado por Restrepo, en esta fase es fundamental el diseño de estructuras, dado que se deben tener en cuenta aspectos como la interacción de factores (dada la necesidad de la combinación), la subordinación de los mismos (anidamiento), entre otros, con el fin de definir el diseño experimental más adecuado a las condiciones del proyecto específico (figura 3).

**Figura 3.** Los objetivos direccionan los diseño



Fuente: Cifuentes y Mejía, 2012

En la figura 3 se aprecia que la adecuada definición del objetivo general y de los específicos, define el diseño experimental como tal, de donde surgen de manera jerárquica preguntas como en el caso del control al momento de establecer las pruebas experimentales, así como si el ambiente donde estas se desarrollan es controlado o no, si los efectos de los tratamientos son fijos o

aleatorios (controlados o no), cuántas fuentes de variación se van a establecer con base en los objetivos específicos con el fin de dar respuesta a los mismos, posteriormente vienen los planteamientos asociados a si algunas de las fuentes de variación son factores ambientales (entendidos como bloques en el diseño experimental) que deberían ser conformadas en bloques o si cumplen con el concepto de ortogonalidad donde el número de niveles por fuente de variación son iguales al interior de un diseño en cuadrado latino (aspecto fundamental para diseños experimentales de este tipo) y un aspecto fundamental, es importante saber un posible efecto promotor o inhibidor al momento de unir o mezclar los factores?, debido a la interacción de estos permiten la observación y el análisis de estos fenómenos. Para llegar a la cúspide de la pirámide donde se definen de manera más puntual tipos de diseños (figura 3), y abre espacio a una serie de preguntas:

¿Los factores son igualmente importantes?, ya que de ser así se pensaría en diseños factoriales.

¿Es un factor o factores más importante o relevante que otros?, debido a su orientación hacia el diseño en parcelas divididas.

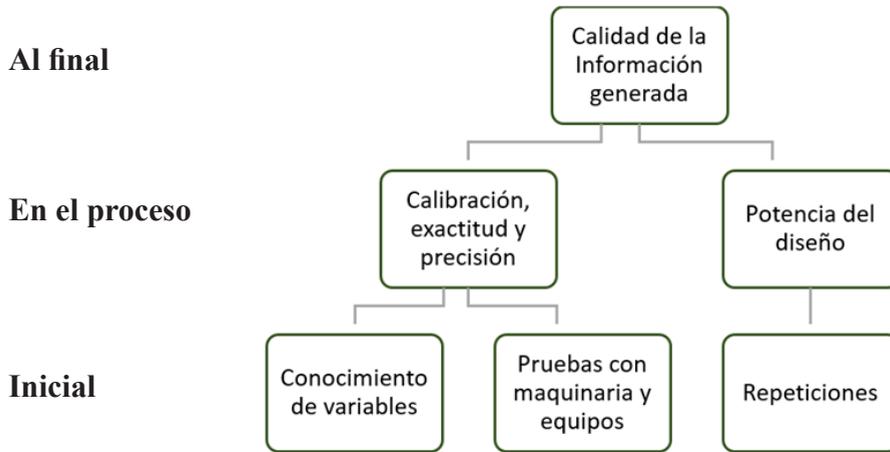
¿Un factor o factores requiere de otros para ser explicado?, lo cual consolida los diseños anidados o jerárquicos.

### **Fundamento de soporte, la potencia del diseño y la consolidación del proceso experimental**

Esta fase del proceso determina la calidad de la información, dado que es aquí donde se afianza el conocimiento asociado a la naturaleza de las variables a evaluar como dependientes, independientes, concomitantes, entre otras. Se define la potencia del diseño para establecer el número de repeticiones, se aprende a manejar maquinaria y equipos y a calibrar los mismos con el fin de no abrir espacio al error experimental, el cual es conocido también como residual o término de perturbación y brindar información pertinente, exacta y precisa, así como lo afirman Montgomery (2003), Little y Hills (1989), donde se dinamiza el diseño experimental y se puede expresar a plenitud por medio de las diferentes variables (figura 4).

En la figura 3 se realiza la definición en tres fases operativas, todas estas tendientes a revisar, monitorizar y controlar que la recolección de los datos provenientes de las variables sea adecuada, hayan sido tomados con el rigor necesario para poder realizar posteriores pruebas y análisis estadísticos de varianza y pruebas de comparación. Sin embargo, esta fase por sí sola no es suficiente porque los datos deben ser sometidos a un “examen” de calidad con el fin de soportar adecuadamente la información generada.

**Figura 4.** Estandarización de variables y procesos



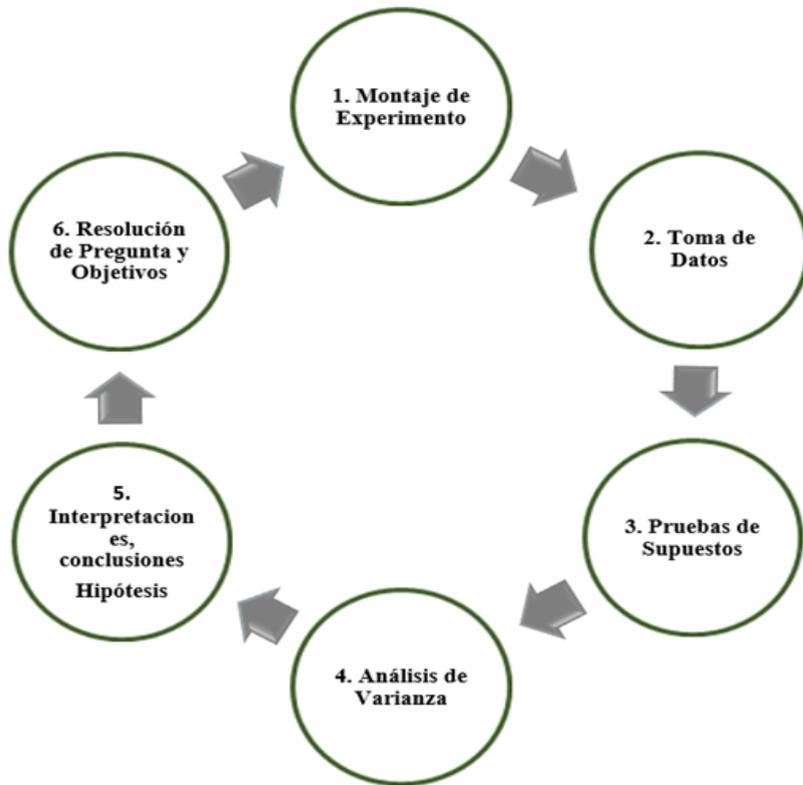
Fuente: Cifuentes y Mejía, 2012

**Fundamento de ejecución, aplicación del diseño experimental, trabajo de campo y supuestos estadísticos en el análisis de varianza y análisis de información.**

Una vez obtenidos los datos de las pruebas iniciales, se procede al montaje del experimento con base en los criterios técnicos y estadísticos necesarios, igualmente se definen los mecanismos de recolección de datos, así como su periodicidad, junto con los aspectos fundamentales que no comprometan la medición.

Luego, se procede a las pruebas de supuestos estadísticos en el análisis de varianza (figura 5), como son la normalidad de varianzas, la aditividad del diseño experimental, aspecto fundamental de la estructura como lo resalta Restrepo (2007), la estocasticidad de errores por medio de la prueba Durbin Watson (supuesto que define la historia de los datos, dado que si este se viola, es indicativo de mala calidad de datos), homogeneidad de varianzas, con el fin de analizar la naturaleza de la variable, realizar transformaciones de datos de ser necesario y, finalmente, el proceso de análisis de varianza, así como las comparaciones y obtención de resultados tendientes a resolver las hipótesis, cuestionamientos hasta llegar al alcance de los objetivos planteados inicialmente, así como lo resaltan Box, Hunter y Hunter (1988) y lo corrobora Montgomery (2003).

**Figura 5.** Análisis de datos para convertirse en información



Fuente: Cifuentes y Mejía, 2012

Se aprecia aquí que la calidad de los datos depende desde el mismo momento en que es concebida la necesidad de saber por parte del investigador, la disciplina de construcción de criterios de análisis, la calibración y observación permanente de equipos se convierten en fundamentos, donde se prueba a través de supuestos, se realizan análisis y la construcción de protocolos tendientes a la resolución final de dichos objetivos para posteriormente trascender a la aplicación práctica en el ámbito organizacional.

## Consideraciones

- El diseño experimental se subordina siempre ante la pregunta de investigación y los objetivos de la misma y nunca el diseño altera la pregunta.
- Según la naturaleza de los objetivos perseguidos por el investigador depende la estructura matemática del diseño como tal.
- Las variables respuesta deben de ser de tal calidad que realmente expliquen el fenómeno bajo estudio y además ser exactas y precisas, e incluso, suficientes en número por tratamiento.
- Los resultados de los análisis deben dar respuesta a los cuestionamientos y no pueden dejar vacíos en la interpretación, argumentación y proposición de nuevas alternativas.



### **3.Sistemas de gestión y el aporte a las investigaciones**

El uso de los sistemas de gestión en los laboratorios, docencia e investigación, aportan de manera significativa a los procesos de acreditación de alta calidad en los entes de educación superior, y permiten obtener beneficios como son, entre otros, aumentar la aceptación de los usuarios frente al servicio, cumplir requerimientos de la norma internacional ISO 17025, requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, cumplir los criterios de alta calidad en la formación de los ingenieros e investigadores, disponer de laboratorios de pruebas y ensayos que arrojen datos confiables que permitan las investigaciones de aula e investigaciones científicas, poseer un soporte científico en la toma de decisiones en los análisis de los resultados, esto permite mejorar la calidad de los productos y los procesos derivados de las investigaciones y la dinamización en el intercambio de información de las publicaciones y su aporte a la región en la formación de estudiantes en ámbitos reales de trabajo en las empresas.

Las diferentes pruebas realizadas en los espacios académicos e investigaciones permiten a los laboratorios interactuar con otros laboratorios de docencia de la región. Actualmente en el departamento del Quindío no existe ningún laboratorio acreditado en calibración de variables físicas, aun así, se mantiene en contacto con otros laboratorios y los equipos que requieren calibración de variables físicas se realiza como mínimo una vez al año, con el fin de estar a la vanguardia de los avances científicos y de mejoramiento continuo, propios de académicos comprometidos con los procesos investigativos.

El cambio creciente en el mercado dada la globalización de la economía, requiere ajustes en los procesos que permitan establecer, mejorar e incrementar la confianza entre clientes, productores y proveedores de las cadenas productivas o servicios. Es por esta razón que para garantizar la confianza internacional nacen conceptos desde el interior de las organizaciones que apuntan al mejoramiento continuo de la calidad del producto o servicio, es así,

como las organizaciones cada día ingresan a grupos seleccionados de certificación (voluntaria, de empresas y producto) y acreditación (laboratorios de pruebas, ensayos y calibración), con la finalidad de cumplir con los requisitos de los clientes descritos en los sistemas de calidad o los requerimientos de las pruebas de ensayo, calibración y metrología indispensables en el diseño, desarrollo, producción del bien o servicio. Estas necesidades descritas conducen a las empresas a realizar alianzas para obtener las certificaciones y formar parte de redes inter laboratorios para comparar resultados de las pruebas de calidad o metrológicas, en lo regional, nacional e internacional.

El sector empresarial pone en marcha estrategias que le permiten crecer gradualmente según las exigencias de los mercados específicos, entre ellas colocar en marcha programas de control metrológico y muestreo; normalizar los métodos de análisis, sin importar el número de ensayos que realiza, el número de empleados o el tamaño de la organización. De esta forma, el sector empresarial y el académico se interesan cada vez más por colocar en marcha los requisitos de gestión y técnicos contenidos en la norma internacional ISO 17025; formar redes interlaboratorios; acreditación de pruebas y ensayos; acreditación de laboratorios especializados, entre otros.

En Colombia actualmente las universidades se interesan por la acreditación de los laboratorios ya que se involucran en los procesos investigativos que permiten la aplicación de la normatividad internacional (ISO 17025) en el control de realización de los productos a escala industrial, lo que reconoce el avance en investigación, innovación y desarrollo de los grupos investigativos e investigación y desarrollo de las empresas.

Poner en funcionamiento los diferentes sistemas de gestión en los laboratorios de pruebas, ensayos y calibración en las universidades o empresas permite obtener resultados confiables y reproducibles en diferentes etapas de los procesos productivos, como son investigación y desarrollo de nuevos productos, control de calidad de materias primas, de proceso, de empaque, de el terminado, vida útil del producto, cumplimiento de requisitos legales y normas nacionales e internacionales específicas del sector productivo. Todo ello con la única finalidad de mejorar la competitividad y reconocimiento de los clientes de la calidad, considerada en esta ocasión no como el cumplimiento de un requisito si no con la visión sistémica de la gestión de calidad en procesos investigativos y productivos.

Existen casos como los laboratorios dedicados a campos de ensayo específicos, por ejemplo de química, análisis de aguas, alimentos, materiales, veterinarios, biotecnológico, farmacéuticos y de materiales, en los que los requisitos establecidos en esta norma pueden no abarcar todos los requerimientos que deberían cumplirse y necesariamente se tendrán que amplificar, analizar y aclarar estos requisitos, así como incluir otros. Por esa razón las acciones encaminadas a acreditación y certificación de los procesos son propias de cada organización según las políticas y objetivos trazados para aumentar la calidad de los productos y servicios ofrecidos.

Las organizaciones (universidades, centros investigativos o empresas) debe centrarse en las exigencias de los clientes, considerando como primer punto el enfoque sistémico de las normas ISO, que permite ajustarlas a cualquier actividad desarrollada para mejorar la calidad, teniendo en cuenta que esta normatividad puede ser aplicada en cualquier organización sin importar el tamaño de la empresa o su actividad productiva. Esto se puede visualizar en la figura 6.

**Figura 6.** Procesos identificados en los Sistemas de Gestión.



Fuente: Jaramillo, 2015

Los procesos descritos son comunes a todos los sistemas de gestión, permitiendo según la organización ajustarlos a sus prácticas en aplicación, rigurosidad, criticidad del proceso, entre otros. Es por ellos que los requisitos de las normas ISO 9001, 14001, 17025; 18001 son complementarias como se evidencian por algunas diferencias:

La Norma ISO 9001, es la base para desarrollar cualesquier sistemas de gestión. La diferencia significativa es el punto siete de la norma: “*Procesos de Realización del Producto/Servicio*”.

En la Norma NTC ISO-IEC 17025 los procesos de realización del producto/servicio se incluye en el punto 5 - “Requisitos Técnicos” acá se evidencia las competencias técnicas que no están incluidas en la Norma ISO 9001 por ejemplo: estimación de la incertidumbre de los resultados y las comparaciones interlaboratorios.

La documentación de los sistemas de gestión de calidad y de los laboratorios es muy necesario conocer la diferencia entre ellas tenemos:

- 9001: Procedimientos documentados específicos
- 17025: Documenta todos los procesos del punto 5 de la norma “requisitos técnicos”

Los procesos de gestión de los recursos exigen mayor rigurosidad en la ISO 17025. De lo anterior, es fácil concluir que la acreditación del sistema de calidad de los laboratorios según la norma NTC ISO-IEC 17025 requiere una mayor inversión y atención en la destinación de los recursos físicos y humanos que al implantarse para la certificación bajo la norma ISO 9001, pero la decisión depende del enfoque y alcance de la organización, por lo tanto, se deben tener en cuenta algunos elementos claves para tomar esta decisión como son:

Las necesidades y expectativas de los clientes actuales del Laboratorio para la docencia o investigación.

Los requisitos legales y reglamentarios aplicables, ajustados a la normatividad colombiana y el proceso de investigación particular desarrollados en los laboratorios.

Es necesario que las instituciones de investigación tengan una dotación de equipos e insumos para el normal desarrollo de cada uno de los ensayos y pruebas con planes de acción para la actualización, mejoramiento, ampliación y mantenimiento de los laboratorios. Los convenios para la contratación de servicio de pruebas con otras instituciones son un apoyo en el desarrollo de las actividades académicas e investigativas. Las acciones de seguridad deben ser ajustadas de acuerdo con las necesidades particulares de cada laboratorio.

Las investigaciones desarrolladas por los entes de educación superior, permiten garantizar procesos de calidad en los laboratorios de docencia e investigación, dadas las pruebas y/o ensayos realizados se ajustan a la reglamentación ya sea en docencia mencionada en el Decreto 2566 de 2003 “Por el cual se establecen las condiciones mínimas de calidad y demás requisitos para el ofrecimiento y desarrollo de programas académicos de educación”.

Así mismo, en los espacios académicos e investigativos es indispensable informar a los estudiantes e investigadores de la normatividad actual vigente para los laboratorios de ensayos y calibración, entre otras: el Decreto 2269 de 1993,

por el cual se organiza el Sistema Nacional de Normalización, Certificación y Metrología; Ministerio de Desarrollo Económico Superintendencia de Industria y Comercio. Circular Única<sup>1</sup>. Título quinto: Procedimiento para la acreditación, su ampliación y renovación de los laboratorios de ensayo y calibración; Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). Norma Técnica Colombiana NTC-ISO-IEC 17025. Requisitos generales de competencia de laboratorios de ensayo y calibración.

Según lo descrito anteriormente no es una camisa de fuerza la acreditación de los laboratorios de investigación o docencia, si no van a ofrecer venta de servicios, si se considera la importancia de la acreditación que la podemos definir según la ISO 9000 como el reconocimiento formal de la competencia del laboratorio y como tal, brinda a los clientes la seguridad de acceder a servicios de calibración y ensayo confiables.

Los beneficios de la acreditación de laboratorios van desde la generación de nuevos mercados, la disminución de riesgos en las pruebas académicas e investigativas, evaluaciones periódicas con otros laboratorios y centros de investigación, mejora continua de los procesos, identificación y revisión de las tendencias investigativas; documentación y normatividad actualizada y accesible, reducción en las repeticiones de las calibraciones y/o ensayos; disminución de los errores en las pruebas; reconocimiento nacional e internacional por centros de investigación académicos.

En los procesos de docencia e investigación se cuenta con diferentes tipos de laboratorios como son:

Laboratorios de calibración: en los cuales se realiza calibración de patrones de referencia e instrumentos de medición.

Laboratorios de medición: en los que se lleva a cabo la medición de características o propiedades físicas o químicas de materiales o sustancias.

Laboratorios de ensayo: en ellos se hacen pruebas, mediante procesos de medición y *test* normalizados, de las características o comportamiento de productos o equipos.

Laboratorios de investigación: allí ocurren diversos procesos de medición como apoyo para el desarrollo de nuevas tecnologías o productos.

Los procesos investigativos académicos deben de garantizar que se lleve a cabo la gestión para que los resultados sean confiables, esta puede ser paralela a los procesos de la norma de requisitos de calidad ISO 9001.

---

1. Disponible en internet: <http://www.sic.gov.co/Normatividad/Circular%20unica/Objetivo.php>

En las investigaciones se hace necesario que las mediciones cumplan con los requisitos técnicos para que los resultados se encuentren dentro de la exactitud requerida.

La esencia de poner en funcionamiento un sistema de gestión en los procesos investigativos o de docencia permite asegurar una administración ordenada y una tecnología adecuada para la confiabilidad de los resultados, así como su aceptabilidad en la comunidad científica.

### **3.1.La gestión en los laboratorios**

La gestión administrativa de los laboratorios para unos resultados confiables, debe ser organizada y debe incluir:

Documentos:

- Un plan de calidad.
- Un manual de calidad.
- Procedimientos administrativos.
- Procedimientos técnicos.
- Registros de calidad.

Personal:

- Conocimientos
- Habilidades necesarias.

#### **Métodos de medición y calibración**

La validación es importante en primer lugar por la aplicación de diseño de experimentos y técnicas estadísticas para evaluarlos antes de ser liberados para realizar mediciones de rutina y, en segundo lugar, el establecimiento de pruebas de control de calidad periódicas para confirmar que su exactitud inicial se mantiene o se mejora.

## **Equipos**

- Amplitud.
- Ubicación.
- Mobiliario.
- Control ambiental de las áreas.

La implementación de los sistemas de gestión de calidad (ISO 9001 o ISO 17025), apuntala a las organizaciones a la confiabilidad de los resultados más allá de los requisitos, permitiendo el avance en calidad, competitividad, formación de personal y desarrollo regional.



## 4. Diseños experimentales, el análisis de los procesos de investigación inductivos para agroindustria

### 4.1 Diseño experimental completamente aleatorizado

Este diseño experimental se aplica cuando los diferentes factores ambientales presentan alta homogeneidad y no influyen sobre los tratamientos (sobre los cuales recae el análisis de los efectos analizados).

Este diseño es recomendable en condiciones de laboratorio, estandarizadas o bajo invernadero en las llamadas condiciones de control, que no influyan sobre el error experimental.

El modelo es del siguiente tipo:

$$y_i = \mu + T_i + \varepsilon_i$$

Donde:

$y_i$  : variable respuesta.

$\mu$  : efecto promedio del experimento.

$T_i$ : efecto causado por el  $i$ -ésimo tratamiento.

$\varepsilon_i$  :  $i$ -ésimo error experimental o término de perturbación.

### Propiedades

1.  $E(\varepsilon_i) = 0$
2.  $V(\varepsilon_i) = \sigma^2$  (Homogénea)
3.  $COV(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0 \quad \forall i \neq j$
4.  $COV(T_i, T_j) = 0$
5.  $\sum_{i=1}^n \hat{T}_i = 0$
6.  $\hat{T}_i = \bar{T}_i - \bar{X}_0$
7.  $\hat{\mu} = \bar{X}_0$  (Gran medida)

Es de resaltar que un tratamiento no debe incidir sobre otro porque destruiría el experimento. El modelo debe ser aditivo; es decir, que la variable respuesta siempre que sea indicada como la sumatoria de los componentes experimentales.

### Ventajas:

- Admite cualquier número de tratamientos.
- Puede aplicarse con igual o diferente número de réplicas.
- Es de fácil manejo, conocido como diseño de una vía.
- Se halla más fácil la significancia estadística.
- Se puede construir a partir de un mínimo de 2 unidades experimentales por tratamiento
- Se acopla fácilmente a otros diseños para generar así, que estos sean de índole compuesto.

**Desventajas:**

- Solo existe una fuente de variación.
- Sacrifica la interacción de factores ambientales.

**Tabla 3.** Análisis de varianza para diseño completamente aleatorizado

FV	GL	SC	CM	$f_{\text{Calculado}}$	$F_{\text{Tabla}, 5\%, 1\%}$
Tratamiento	$k - 1$	$\sum \frac{\sum T_i^2}{r} - FC$	$\frac{SC_{\text{Tratamiento}}}{GL_{\text{Tratamiento}}}$	$\frac{CM_{\text{Tratamiento}}}{CM_{\text{ErrorExp}}}$	$(GL_{\text{Tratamiento}} \cdot GL_{\text{Error}})$
Error Exp.	$n - k$	$SC_{\text{Total}} - SC_{\text{Tratamiento}}$	$\frac{SC_{\text{ErrorExp}}}{GL_{\text{ErrorExp}}}$		
Total	$n - 1$	$\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n}$			

Fuente: Mejía, 2015

Si  $f_{\text{calc}} < f_{\text{tabla}(0.05, 0.01)}$ : El modelo no es significativo.

Si  $f_{\text{calc}} \geq f_{\text{tabla}(0.05)}$  El modelo es significativo y se denota al lado del valor de F calculado con un asterisco (\*), indicando que el modelo se explica con un 95 % de confiabilidad.

Si  $f_{\text{calc}} \geq f_{\text{tabla}(0.01)}$  El modelo es altamente significativo y se denota al lado del valor de F calculado con dos asteriscos (\*\*), indicando que el modelo se explica con un 99 % de confiabilidad.

**Ejercicio para diseño en bloques completamente aleatorizado balanceado**

Bajo condiciones de planta piloto, se utilizaron cinco tipos de sustratos (mezclas de carne de cerdo y res) para la producción de cierto producto cárnico. La variable analizada fue cantidad procesada en kilogramos. Se utilizaron seis repeticiones por tratamiento, obteniéndose lo siguiente:

**Tabla 4.** Ejemplo de efecto de sustratos sobre producción

Sustrato	Repeticiones						$\sum Ti$
	1	2	3	4	5	6	
1	2.1	2.5	2.3	2.4	2.1	2.3	13.7
2	2.5	2.3	2.7	2.8	2.9	2.7	15.9
3	3.1	3.2	3	2.8	2.9	2.9	17.9
4	3	3	2.8	2.8	2.9	3.2	17.7
5	2.5	2.4	2.5	2.3	2.8	2.5	15

Fuente: Mejía, 2015

1. Se calcula la suma de cuadrado total:

$$SC_{Total} = 2.1^2 + 2.5^2 + \dots + 2.5^2 - \frac{(2.1 + 2.5 + \dots + 2.5)^2}{30}$$

$$\rightarrow SC_{Total} = 217.26 - 214.4 = 2.86$$

2. Se calcula la suma de cuadrados para los tratamientos, en este caso, los sustratos:

$$SC_{Trata} = \frac{13.7^2}{6} + \frac{15.9^2}{6} + \frac{17.9^2}{6} + \frac{17.7^2}{6} + \frac{15^2}{6} - 214.4 = 2.1$$

3. Se halla la suma de cuadrado del error experimental, que es la diferencia entre la suma de cuadrado total y la suma de cuadrados de los tratamientos:

$$SC_{ErrorExp} = 2.86 - 2.1 = 0.76$$

Se construye el análisis de varianza (Anava, tabla 5):

**Tabla 5.** Análisis de varianza para diseño completamente aleatorizado balanceado, ejercicio resuelto

FV	GL	SC	CM	F calculado	F tabla 5 % 1 %
Tratamiento	4	2.1	$\frac{2.1}{4} = 0.525$	$\frac{0.525}{0.0304} = 17.27$ **	(4,25)= 2.76 4.18
Error Experimental	29-4=25	0.76	$\frac{0.76}{25} = 0.0304$		
Total	29	2.86			

Fuente: Los autores

Interpretación:

Existe un efecto altamente significativo de los sustratos sobre la producción de carne.

### Ejercicio de diseño en bloques completamente aleatorizado desbalanceado

En la tabla 6 se presentan los datos del uso de tres tratamientos para mejorar la resistencia de un biomaterial, encontrándose como resultado la variable incremento de resistencia (porcentaje).

**Tabla 6.** Datos de ejemplo de resistencia

Tratamiento	Repeticiones						$\sum T_i$
	1	2	3	4	5	6	
1	28.1	25.7	29.3	30.1	29.8	28.8	171.8
2	31.4	32.1	28.9	27.4	26.1		145.9
3	33.1	34.1	34.7	35.3			137.2

Fuente: Mejía, 2015

Se realizan los mismos pasos del ejercicio anterior, solo que el denominador para cada tratamiento al calcular su suma de cuadrados respectiva cambia:

$$1. \quad SC_{Total} = 28.1^2 + 25.7^2 + \dots + 35.3^2 - \frac{(28.1 + 25.7 + \dots + 35.3)^2}{15}$$

$$\rightarrow SC_{Total} = 13924.23 - 13795.6 = 128.63$$

2. Es aquí donde se da la variación para el diseño experimental:

$$SC_{Tratamiento} = \frac{171.8^2}{6} + \frac{145.9^2}{5} + \frac{137.2^2}{4} - 13795.6 = 86.93$$

$$3. \quad SC_{ErrorExperimental} = 128.63 - 86.93 = 41.7$$

4. Se construye el análisis de varianza:

**Tabla 7.** Análisis de varianza para diseño completamente aleatorizado desbalanceado, ejercicio resuelto.

FV	GL	SC	CM	F calculado	F tabla 5 % 1 %
Tratamiento	2	86.93	$\frac{86.93}{2} = 43.47$	$\frac{28.98}{3.79} = 7.65^{**}$	(3,11) = 3.59 6.22
Error Experimental	14-2=12	41.7	$\frac{41.7}{12} = 3.48$		
Total	14	128.63			

Fuente: Mejía, 2015

Interpretación: se aprecia un efecto altamente significativo por parte de los tratamientos frente al incremento de resistencia del biomaterial bajo investigación.

## 4.2 Diseño experimental en bloques al azar

Se aplica cuando no existen condiciones de homogeneidad, debiéndose estratificar por bloques (efectos ambientales); sin embargo, en cada bloque el efecto ambiental debe ser lo más homogéneo posible, existiendo discrepancia entre bloques (donde lo más indicado es que todos tengan igual número de repeticiones o réplicas. El bloque no exige una forma geométrica definida y es conocido como modelo de 2 vías o de 2 colas, denotado así (Ecuación 2):

$$y_{ij} = \mu + T_i + B_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$y_{ij}$ : es la variable respuesta asociada al i-ésimo tratamiento y al j-ésimo bloque.

$\mu$ : efecto promedio del experimento.

$T_i$ : efecto del i-ésimo tratamiento.

$B_j$ : efecto del j-ésimo bloque.

$\varepsilon_{ij}$ : error experimental o término de perturbación asociado al i-ésimo tratamiento y al j-ésimo bloque.

### Propiedades 1

- |   |  |   |                                      |
|---|--|---|--------------------------------------|
| 1 | $E(\varepsilon_{ij}) = 0$  | 5 | $\sum_{i=1}^n \hat{B}_j = 0$         |
| 2 | $V(\varepsilon_{ij}) = \sigma^2$ (Homogénea)                         | 6 | $\hat{T}_i = \bar{T}_i - \bar{X}_0$  |
| 3 | $COV(\varepsilon_{i.}, \varepsilon_{.j}) = 0 \quad \forall i \neq j$ | 7 | $\hat{B}_j = \bar{B}_j - \bar{X}_0$  |
| 4 | $\sum_{i=1}^n \hat{T}_i = 0$   | 8 | $\hat{\mu} = \bar{X}_0$ (Gran media) |

### Ventajas

- Admite cualquier número de tratamientos.
- Admite cualquier número de bloques.
- Puede aplicarse con igual o diferente número de réplicas.
- Se detecta más fácil la significancia estadística.
- Se acopla fácilmente a otros diseños, para generar así, diseños de índole compuesto.

### Desventajas

- Sacrifica la interacción de factores ambientales.

La construcción de su respectivo análisis de varianza se evidencia en la tabla 8:

**Tabla 8.** Análisis de varianza para diseño en bloques al azar

FV	GL	SC	CM	$f_{\text{Calculado}}$	$F_{\text{Tabla}}, 5\%, 1\%$
Tratamiento	$k - 1$	$\sum \frac{\sum T_L^2}{B} - FC$	$\frac{SC_{\text{Tratamiento}}}{GL_{\text{Tratamiento}}}$	$\frac{CM_{\text{Tratamiento}}}{CM_{\text{ErrorExp}}}$	$(GL_{\text{Tratamiento}}, GL_{\text{Error}})$
Bloque	$N^{\circ} \text{bloques} - 1$	$\sum \frac{\sum B_j^2}{r} - FC$	$\frac{SC_{\text{Bloque}}}{GL_{\text{Bloque}}}$	$\frac{CM_{\text{Bloque}}}{CM_{\text{ErrorExp}}}$	$(GL_{\text{Bloque}}, GL_{\text{Error}})$
Error Exp.	$GL_{\text{Total}} - GL_{\text{Tratamiento}} - GL_{\text{Bloque}}$	$SC_{\text{Total}} - SC_{\text{Tratamiento}} - SC_{\text{Bloque}}$	$\frac{SC_{\text{ErrorExp}}}{GL_{\text{ErrorExp}}}$		
Total	$n - 1$	$\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n}$			

Fuente: Mejía, 2015

Si  $f_{\text{calc}} < f_{\text{tabla}} (0.05, 0.01)$  El modelo no es significativo.

Si  $f_{\text{calc}} \geq f_{\text{tabla}} (0.05)$ : El modelo es significativo y se denota al lado del valor de F calculado con un asterisco (\*), indicando que el modelo se explica con un 95 % de confiabilidad.

Si  $f_{calc} \geq f_{tabla(0.01)}$  El modelo es altamente significativo y se denota al lado del valor de F calculado con dos asteriscos (\*\*), indicando que el modelo se explica con un 99 % de confiabilidad.

### Ejercicio de diseño en bloques al azar

Se llevó a cabo en cuatro agroindustrias dedicadas al sector de pulpas de frutas, cuatro tratamientos para aumentar la producción con base en la disminución de pérdidas por el uso de ciertas máquinas, en el cual el mayor costo económico era la máquina dos, seguida de las tres, luego, la uno y, por último, la cuatro, de igual manera estaba distribuido el grado de desarrollo tecnológico de tales máquinas, desde más bajo al más alto desarrollo (máquinas 2, 3, 1 y 4, respectivamente). La variable analizada fue producción en toneladas en un día determinado utilizando la maquinaria mencionada.

¿Existe diferencia entre máquinas?

¿Existe diferencia entre las agroindustrias?

Los resultados obtenidos para las máquinas en las cuatro agroindustrias son presentados en la tabla 9 y posteriormente se agrega el análisis de la misma:

**Tabla 9.** Datos de ejemplo de producción en función de máquinas y agroindustrias

Máquina	Agroindustria				$\sum T_i$
	1	2	3	4	
1	24.2	24.1	24.5	24.9	97.7
2	24.4	21.3	21.4	23.1	90.2
3	22.2	22.6	22.7	22.8	90.3
4	23.5	21.4	23.4	23.1	91.4
$\sum B_j$	94.3	89.4	92	93.9	

Fuente: Mejía, 2015

1. Se calcula inicialmente la suma de cuadrado total:

$$SC_{Total} = 24.2^2 + 24.1^2 + 24.5^2 + \dots + 23.1^2 - \frac{(24.2 + 24.1 + 24.5 + \dots + 23.1)^2}{16}$$

$$SC_{Total} = 8557.44 - 8537.76 = 19.68$$

2. Luego calcula la suma de cuadrados para los tratamientos, para este caso,

$$SC_{Bloque} = \frac{94.3^2}{4} + \frac{89.4^2}{4} + \frac{92^2}{4} + \frac{93.9^2}{4} - 8537.76 = 3.755$$

3. Se calcula la suma de bloques, para este caso las agroindustrias:

$$SC_{Bloque} = \frac{94.3^2}{4} + \frac{89.4^2}{4} + \frac{92^2}{4} + \frac{93.9^2}{4} - 8537.76 = 3.755$$

4. La última suma de cuadrados que se calcula es la del error experimental, la cual es la diferencia existente entre la suma de cuadrado total y las sumas de cuadrados para tratamiento y bloque, así:

$$SC_{ErrorExp} = 19.68 - 9.585 - 3.755 = 6.34$$

5. Calculando las anteriores sumas de cuadrados se construye el respectivo análisis de varianza (Anava, tabla 10):

**Tabla 10.** Análisis de varianza para diseño en bloques al azar, ejercicio resuelto

FV	ANAVA				
	GL	SC	CM	F calculado	F tabla 5 % 1 %
Tratamiento	3	9.585	$\frac{9.585}{3} = 3.195$	$\frac{3.195}{0.704} = 4.54 *$	(3,9)= 3.86 6.99
Bloque	3	3.755	$\frac{3.755}{3} = 1.2517$	$\frac{1.2517}{0.704} = 1.78$	(3,9)= 3.86 6.99
Error Experimental	15-3-3=9	6.34	$\frac{6.34}{9} = 0.704$		
Total	15	19.68			

Fuente: Mejía, 2015

Interpretación: Existe un efecto significativo entre tratamientos (máquinas), más no entre bloques (agroindustrias); es decir, que las máquinas están influyendo significativamente en la producción pero no existe diferencia entre las agroindustrias.

### 4.3. Pruebas comparativas

Cuando se llevan a cabo pruebas experimentales, siempre es recomendable acompañar los diseños experimentales establecidos con pruebas de comparación específicas que permitan determinar cuáles son los tratamientos o niveles de factores de mayor impacto positivo o negativo en las dinámicas experimentales y aunque existen diversas pruebas, el presente texto hace énfasis a las pruebas comparativas de Tukey debido a su potencialidad de análisis y los contrastes ortogonales, los cuales abren perspectivas de pensamiento frente a posibles tratamientos a desarrollar en un escalamiento de los procesos investigativos.

#### Prueba comparativa de Tukey

Esta prueba detecta diferencias significativas (\*) o altamente significativas (\*\*) entre pares de tratamientos, donde la significancia estadística siempre es constante; además, esta es la más utilizada para cotejar tratamientos sin parcialidad.

Aplica las siguientes fórmulas:

Igual número de réplicas diferente número de réplicas

$$W = q \hat{\alpha}(k, GL_{ErrorExp}) * \sqrt{\frac{CM_{ErrorExp}}{r_i}} \quad W = q \hat{\alpha}(k, GL_{ErrorExp}) * \sqrt{CM_{ErrorExp} * \left( \frac{1}{r_i} + \frac{1}{r_j} \right)}$$

Donde:

$\alpha$  : nivel de significancia

$k$  : número de tratamientos

$GL_{ErrorExp}$  : grados de libertad del error experimental

$CM_{ErrorExp}$  : cuadrado medio del error experimental

$r_i, r_j$  : número de réplicas

$q \hat{\alpha}(k, GL_{ErrorExp})$ : se busca en la tabla de Tukey, en función de la significancia, número de tratamientos y grados de libertad del error experimental.

### Ejercicio 1 de prueba comparativa Tukey (para igual número de repeticiones por tratamiento)

Del ejercicio del diseño completamente aleatorizado donde se analizaba la producción de carne con base en los cinco sustratos, determinar cuál es el mejor desde el punto de vista experimental.

1. Se calcula el resultado promedio por cada tratamiento y se organizan de mayor a menor:

**Tabla 11.** Datos de ejemplo de producción en función de sustratos

Sustrato	Repeticiones						$\sum T_i$	$\bar{T}_i$
	1	2	3	4	5	6		
1	2.1	2.5	2.3	2.4	2.1	2.3	13.7	2.28
2	2.5	2.3	2.7	2.8	2.9	2.7	15.9	2.65
3	3.1	3.2	3	2.8	2.9	2.9	17.9	2.98
4	3	3	2.8	2.8	2.9	3.2	17.7	2.95
5	2.5	2.4	2.5	2.3	2.8	2.5	15	2.5

Fuente: Mejía, 2015

T3: 2.98

T4: 2.95

T2: 2.65

T5: 2.5

T1: 2.28

Se halla de las tablas de Tukey a  $q\alpha(k, G L_{ErrorExp})$ , aunque como no se determinó desde el principio la significancia con la cual se trabajará la prueba comparativa, será entonces del 5 %, para que la prueba comparativa sea significativa.

$\alpha = 0.05$  , 5 % de significancia

k= 5 tratamientos

$$GL_{ErrorExp} = 25$$

Entonces se busca en la tabla de Tukey:

$$q_{0.05(5,25)} = 4.17$$

2. Se halla W:

$$W = 4.17 * \sqrt{\frac{0.0304}{6}} = 0.297$$

3. Se realiza la diferencia de todos los tratamientos contra todos, comenzando por el tratamiento tres, que es el que posee el promedio más alto:

$$T3 - T4 = 2.98 - 2.95 = 0.03 < 0.297 \text{ No diferencia}$$

$$T3 - T2 = 2.98 - 2.65 = 0.33 > 0.297 * \text{ Diferencia significativa}$$

$$T3 - T5 = 2.98 - 2.5 = 0.48 > 0.297 * \text{ Diferencia significativa}$$

$$T3 - T1 = 2.98 - 2.28 = 0.7 > 0.297 * \text{ Diferencia significativa}$$

Sigue el segundo tratamiento más alto, en este caso el tratamiento 4:

$$T4 - T2 = 2.95 - 2.65 = 0.3 * \text{ Diferencia significativa}$$

$$T4 - T5 = 2.95 - 2.50 = 0.45 * \text{ Diferencia significativa}$$

$$T4 - T1 = 2.95 - 2.28 = 0.67 * \text{ Diferencia significativa}$$

Sigue el tercer tratamiento, en este caso el tratamiento 2:

$$T2 - T5 = 2.65 - 2.50 = 0.15 \text{ No diferencia}$$

$$T2 - T1 = 2.65 - 2.28 = 0.37 * \text{ Diferencia significativa}$$

En última instancia se comparan los tratamientos restantes (tratamiento 5 y 1, respectivamente):

$$T_5 - T_1 = 2.50 - 2.28 = 0.22 < 0.297 \text{ No diferencia}$$

Se puede concluir que el tratamiento 3 no es diferente del 4, pero lo es de los demás, de igual manera, sucede con el 4, mientras que el 2 no difiere del 5, pero sí significativamente del 1 y finalmente, el 5 no difiere del 1.

El ejercicio se resume en la tabla 12:

**Tabla 12.** Pruebas de comparación con base en Tukey, con igual número de repeticiones

Tratamiento	Respuesta
1	2.28 c
2	2.65 b
3	2.98 a
4	2.95 a
5	2.50 bc

Fuente: Mejía, 2015

### Ejercicio 2 de prueba comparativa de Tukey (para diferente número de repeticiones por tratamiento)

Se siguen los mismos pasos que en el ejercicio anterior (tabla 13), salvo que para hallar W, la fórmula difiere un poco de aquella para igual número de repeticiones, tomando el ejercicio de los tres tratamientos para mejorar la resistencia del biomaterial:

**Tabla 13.** Datos para prueba de comparación cuando el número de repeticiones es desbalanceado

Tratamiento	Repeticiones						$\sum T_i$	$\bar{T}_i$
	1	2	3	4	5	6		
1	28.1	25.7	29.3	30.1	29.8	28.8	171.8	28.6
2	31.4	32.1	28.9	27.4	26.1		145.9	29.2
3	33.1	34.1	34.7	35.3			137.2	34.3

Fuente: Mejía, 2015

Se realiza el cálculo de  $q\alpha(k, G L_{ErrorExp})$ , a partir de las tablas de Tukey:

$$q_{0.05(3,11)} = 3.82$$

Dado que los 3 tratamientos poseen diferente número de repeticiones, se debe calcular  $W$  para cada diferencia que se plantee:

Se comienza con el tratamiento que posee mayor promedio:

$$T_3 - T_2 = 34.3 - 29.2 = 5.1 > W = 3.82 * \sqrt{3.79 * \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{5}\right)} = 4.99 \text{ Diferencia significativa}$$

$$T_3 - T_1 = 34.3 - 28.6 = 5.7 > W = 3.82 * \sqrt{3.79 * \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{6}\right)} = 4.8 \text{ Diferencia significativa}$$

luego,

$$T_2 - T_1 = 29.2 - 28.6 = 0.6 < W = 3.82 * \sqrt{3.79 * \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{6}\right)} = 4.50 \text{ No diferencia}$$

Es decir, que el tratamiento 3 difiere significativamente de los tratamientos 1 y 2; además, no existe diferencia significativa entre el 1 y 2.

Dicho análisis se puede resumir de la siguiente manera:

**Tabla 14.** Prueba comparativa de Tukey con diferente número de repeticiones

Tratamiento	Respuesta
1	28.6 b
2	29.2 b
3	34.3 a

Fuente: Mejía, 2015

#### 4.4 Contrastes ortogonales

Cuando se compara entre diferentes tratamientos que no presentan diferencias significativas entre sí, se debe determinar:

$$T_1 = T_2 = \dots = T_n \neq 0$$

Cuando  $H_0 : T_1 = T_2$   
 $H_1 : T_1 \neq T_2 \rightarrow H_1 : Y_1 - Y_2 = 0$

Se manejan, entonces, combinaciones lineales entre tratamientos, los cuales

son llamados contrastes  $c = \sum_{i=1}^a c_i y_i$ , con la restricción que  $\sum_{i=1}^a c_i = 0$ .

La suma de cuadrados de cualquier contraste es:

$$S C_{\text{contraste}} = \frac{\left( \sum_{i=1}^a c_i y_i \right)^2}{n * \sum_{i=1}^a c_i^2}, \text{ solo posee un grado de libertad } (G L = 1)$$

El contraste se prueba mediante la comparación de la  $S C_{\text{contraste}}$  con el  $C M_{\text{Error}}$  el estadístico resultante es una distribución  $F$  con 1 y  $N - \alpha$  grados de libertad ( $\alpha = \text{á Tratamiento s}$ ). Además, los contrastes son seleccionados con base en el criterio del investigador y dicha fase se debe llevar a cabo antes de iniciar el experimento, para evitar el sesgo.

### Ejercicio de contrastes ortogonales

Se llevó a cabo una investigación bajo un diseño completamente aleatorizado, donde se analizó la variable producción en toneladas de harina de maíz, sometido a 4 tipos de procesamiento, además se realizaron 4 repeticiones por tratamiento, obteniendo lo siguiente (Tabla 15):

**Tabla 15.** Datos para ejemplo de contrastes ortogonales

Tratamiento	Repeticiones				$\sum Ti$
	1	2	3	4	
1	9.6	9.8	10.1	9.5	39
2	9.3	9	9	9.4	36.7
3	12.3	12	11.5	10.9	46.7
4	8.9	9.5	9	9	36.4

Fuente: Mejía, 2015

$$S C_{\text{Total}} = 19.03$$

$$S C_{\text{Tratamiento}} = 17.345$$

$$S C_{\text{ErrorExp}} = 1.685$$

Contrastes:

$$T3-T1: 46.7-39=7.7 \quad S C_{C.T3-T1} = \frac{(7.7)^2}{8} = 7.41$$

$$T3-T2: 46.7-36.7=10 \quad S C_{C.T3-T2} = \frac{(10)^2}{8} = 12.5$$

$$T3-T4: 46.7-36.4=10.3 \quad S C_{C.T3-T4} = \frac{(10.3)^2}{8} = 13.3$$

$$T1-T2: 39-36.7=2.3 \quad S C_{C.T1-T2} = \frac{(2.3)^2}{8} = 0.7$$

$$T1-T4: 39-36.4=2.6 \ S C_{C.T1-T4} = \frac{(2.6)^2}{8} = 0.8$$

$$T2-T4: 36.7-36.4=0.3 \ S C_{C.T2-T4} = \frac{(0.3)^2}{8} = 0.01$$

**Tabla 16.** Análisis de varianza con contrastes ortogonales

FV	GL	SC	CM	F calculado	F tabla 5 % 1 %
Tratamiento	3	17.345	$\frac{17.345}{3} = 5.78$	$\frac{5.782}{0.14} = 41.3 **$	(3,12)= 3.49 5.95
T3-T1	1	7.41	7.41	$\frac{7.41}{0.14} = 52.93 **$	(1,12)= 4.75 9.33
T3-T2	1	12.5	12.5	$\frac{12.5}{0.14} = 89.3 **$	(1,12)= 4.75 9.33
T3-T4	1	13.3	13.3	$\frac{13.3}{0.14} = 95 **$	(1,12)= 4.75 9.33
T1-T2	1	0.7	0.7	$\frac{0.7}{0.14} = 5 *$	(1,12)= 4.75 9.33
T1-T4	1	0.8	0.8	$\frac{0.8}{0.14} = 5.71 *$	(1,12)= 4.75 9.33
T2-T4	1	0.01	0.01	$\frac{0.01}{0.14} = 0.07$	(1,12)= 4.75 9.33
Error Experimental	12	1.685	$\frac{1.685}{12} = 0.14$		
Total	15	19.03			

Fuente: Mejía, 2015

Interpretación: Existe un efecto altamente significativo para la fuente de variación tratamiento, donde se aprecia una diferencia altamente significativa del 3 con respecto a los demás, se aprecia además, una diferencia significativa del 1 con respecto a 2 y 4, mientras que estos dos tratamientos no muestran diferencia estadística alguna (tabla 16).

## 4.5. Diseño experimental en cuadrado latino

Este tipo de diseño permite al investigador explicar una fuente de variación adicional con respecto al diseño en bloques al azar (ecuación 3); es decir, se introduce una nueva fuente de variación:

$$y_{ijs} = \mu + T_{i.} + F_{.j} + C_{.s} + \varepsilon_{ijs}$$

Donde:

$y_{ijs}$  : Es la respuesta de la unidad experimental asociada con el i-ésimo tratamiento, j-ésima fila y la s-ésima columna.

$\mu$  : Efecto promedio para todo el experimento.

$T_{i.}$  : Efecto del i-ésimo tratamiento sobre todas las filas y columnas.

$F_{.j}$  : Efecto de la j-ésima fila sobre todos los tratamientos y columnas.

$C_{.s}$  : Efecto de la s-ésima columna sobre todos los tratamientos y filas.

$\varepsilon_{ijs}$  : Error experimental obtenido por el i-ésimo tratamiento, j-ésima fila y la s-ésima columna.

Este diseño es muy aplicado cuando se requiere evaluar no solo el efecto de los tratamientos, sino también el arreglo espacial o ubicación espacial de los mismos.

Propiedades:

1.  $\hat{\mu} = \bar{x} \dots$

2.  $\hat{T}_{i.} = \bar{T}_{i.} - \bar{x} \dots$

3.  $\sum_{i=1}^k \hat{T}_{i.} = 0$

4.  $COV(\varepsilon_{ijs}, \varepsilon_{ijs'}) = 0$

5.  $E(\varepsilon_{ijs}) = 0$

$$6. \sum_{i=1}^k \hat{C}_{.s} = 0$$

$$7. \sum_{i=1}^k \hat{F}_{.j} = 0$$

$$8. E(y_{ijs}) = \mu + T_{i.} + F_{.j} + C_{.s} + \varepsilon_{ijs}$$

$$9. V(y_{ijs}) = \sigma^2$$

### Ventajas

- Admite cualquier número de tratamientos, pero estos deben ser iguales al número de filas y columnas.
- Se acopla fácilmente a otros diseños, para generar así, diseños de índole compuesto.

### Desventajas

- Sacrifica la interacción de factores ambientales.

El cuadrado latino ilustrado en las tablas 17 y 18 posee la característica de que los tratamientos no se repiten ni en filas ni en columnas, siendo los más usuales hasta aquellos de tipo 5x5 y la disposición de los tratamientos se hace de dos maneras diferentes:

**Tabla 17.** Arreglo secuencial de diseño en cuadrado latino

	<u>I</u>	<u>II</u>	<u>III</u>	<u>IV</u>	<u>V</u>
<u>I</u>	B	C	D	E	A
<u>II</u>	C	D	E	A	B
<u>III</u>	D	E	A	B	C
<u>IV</u>	E	A	B	C	D
<u>V</u>	A	B	C	D	E

Fuente: Mejía, 2015

Sentido del arreglo ( ← ), en contra de las manecillas del reloj.

**Tabla 18.** Arreglo circular de diseño en cuadrado latino

	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>
<b>I</b>	A	B	C	D	E
<b>II</b>	E	A	B	C	D
<b>III</b>	D	E	A	B	C
<b>IV</b>	C	D	E	A	B
<b>V</b>	B	C	D	E	A

Fuente: Mejía, 2015

Sentido del arreglo (→), giro de manecillas de reloj.  
 No obstante, se debe someter el arreglo de los tratamientos a un proceso de aleatorización, efectuándose en la primera fila o primera columna a través de números aleatorios. El análisis de varianza es del siguiente tipo (tabla 19):

**Tabla 19.** Análisis de varianza para diseño en cuadrado latino

Anava					
FV	GL	SC	CM	f <sub>Calculado</sub>	F <sub>Tabla, 5% 1%</sub>
<b>Filas</b>	k - 1	$\sum \frac{\sum F_{j.}^2}{k} - FC$	$\frac{SC_{Filas}}{GL_{Filas}}$	$\frac{CM_{Filas}}{CM_{ErrorExp}}$	(GL <sub>Filas</sub> , GL <sub>Error</sub> )
<b>Columnas</b>	k-1	$\sum \frac{\sum C_{.j}^2}{k} - FC$	$\frac{SC_{Columnas}}{GL_{Columnas}}$	$\frac{CM_{Columnas}}{CM_{ErrorExp}}$	(GL <sub>Columnas</sub> , GL <sub>Error</sub> )
<b>Tratamientos</b>	k-1	$\sum \frac{\sum T_{.j}^2}{k} - FC$	$\frac{SC_{Tratamientos}}{GL_{Tratamientos}}$	$\frac{CM_{Tratamientos}}{CM_{ErrorExp}}$	(GL <sub>Tratamiento</sub> , GL <sub>Error</sub> )
<b>Error Exp.</b>	$GL_{Total} - GL_{Filas} - GL_{Columnas} - GL_{Tratam.}$	$SC_{Total} - SC_{Filas} - SC_{Columnas} - SC_{Tratamientos}$	$\frac{SC_{ErrorExp}}{GL_{ErrorExp}}$		
<b>Total</b>	n - 1	$\sum y_{ij}^2 - \frac{(\sum y_{ij})^2}{n}$			

Fuente: Mejía, 2015

Donde *k* es el número de tratamientos, filas y columnas.

Si  $f_{calc} < f_{tabla(0.05, 0.01)}$  :el modelo no es significativo.

Si  $f_{calc} \geq f_{tabla(0.05)}$  el modelo es significativo y se denota al lado del valor de F calculado con un asterisco (\*), indicando que el modelo se explica con un 95 % de confiabilidad.

Si  $f_{calc} \geq f_{tabla(0.01)}$  el modelo es altamente significativo y se denota al lado del valor de F calculado con dos asteriscos (\*\*), indicando que el modelo se explica con un 99 % de confiabilidad.

### Ejercicio de diseño experimental en cuadrado latino

Un investigador desea evaluar la frecuencia de compra de 5 tipos de compota en una mañana en un supermercado, además de la ubicación en altura del estante (5 alturas=filas), y presentación (5 tipos de presentación=columnas), en forma aleatoria seleccionó el arreglo circular al interior del supermercado, de esta forma los datos se organizan como lo indica la tabla 20.

**Tabla 20.** Ejemplo de diseño en cuadrado latino

A 3	E 4	C 0	B 5	D 7
D 8	A 4	E 5	C 2	B 6
B 6	D 7	A 4	E 6	C 3
C 3	B 7	D 6	A 3	E 5
E 5	C 4	B 6	D 7	A 4

Fuente: Mejía, 2015

Dado que la variable es el número de compotas compradas, se debe transformar bajo el criterio de  $\sqrt{x+0.5}$  (apéndice 1. Base para la transformación de datos), porque cada valor obtenido reemplaza a la x de la ecuación, quedando la transformación tal como se muestra en la tabla 21.

**Tabla 21.** Datos transformados para cuadrado latino

						$\sum$ Filas
	A 1.871	E 2.121	C 0.707	B 2.345	D 2.739	9.783
	D 2.915	A 2.121	E 2.345	C 1.581	B 2.550	11.512
	B 2.550	D 2.739	A 2.121	E 2.550	C 1.871	11.831
	C 1.871	B 2.739	D 2.550	A 1.871	E 2.345	11.376
	E 2.345	C 2.121	B 2.550	D 2.739	A 2.121	11.876
$\sum$ Columna.	11.552	11.841	10.273	11.086	11.626	

Fuente: Mejía, 2015

$$\sum TrataA = 1.0105 \quad \sum TrataB = 1.2734 \quad \sum TrataC = 8.151$$

$$\sum TrataD = 1.3682 \quad \sum TrataE = 1.706$$

1. Se calcula la suma de cuadrado total:

$$S C_{Total} = 1.871^2 + 2.121^2 + \dots + 2.121^2 - \frac{(1.871 + 2.121 + \dots + 2.121)^2}{2 \cdot 5}$$

$$\rightarrow S C_{Total} = 132.509488 - 127.1391554 = 5.37033264$$

2. Se halla la suma de cuadrados para los tratamientos:

$$S C_{Trata} = \frac{1.0105^2 + 1.2734^2 + \dots + 1.706^2}{5} - 127.1391554 = 3.84727304$$

3. Se encuentra la suma de cuadrados para las filas:

$$S C_{Filas} = \frac{9.783^2 + 1.1512^2 + \dots + 1.1876^2}{5} - 127.1391554 = 0.59255384$$

4. Se soluciona la suma de cuadrados para las columnas:

$$S C_{Columnas} = \frac{1.1552^2 + 1.1841^2 + \dots + 1.1626^2}{5} - 127.1391554 = 0.31200184$$

5. Se calcula la suma de cuadrados del error experimental:

$$S C_{ErrorExp} = 5.37033264 - 3.84727304 - 0.59255384 - 0.31200184 = 0.61850392$$

6. Se construye el respectivo análisis de varianza (Anava) tal como lo muestra la tabla 19.

**Tabla 22.** Análisis de varianza para diseño en cuadrado latino, ejercicio resuelto

FV	GL	SC	CM	F calculado	F tabla
Tratamiento	4	3.84727304	$\frac{3.84727304}{4} = 0.962$	$\frac{0.962}{0.155} = 6.21$	(4,4)=6.39 15.98
Fila	4	0.59255384	$\frac{0.59255384}{4} = 0.148$	$\frac{0.148}{0.155} = 0.95$	(4,4)=6.39 15.98
Columna	4	0.31200184	$\frac{0.31200184}{4} = 0.078$	$\frac{0.078}{0.155} = 0.5$	(4,4)=6.39 15.98
Error Experimental	24-4-4-4=12	0.61850392	$\frac{0.61850392}{4} = 0.155$		
Total	24	5.37033264			

Fuente: Mejía, 2015

Interpretación de los datos de acuerdo con la tabla 19: no existe efecto significativo alguno frente al consumo de compotas, su ubicación en altura en el estante y la presentación, ya que no influye ninguno de estos 3 factores en cuanto al mercadeo de las compotas.

#### 4.6. Diseño experimental en arreglo factorial

Se puede amoldar dentro de cualquier tipo de diseño experimental visto con antelación, tal como bloques al azar, cuadrado latino, completamente aleatorizado, entre otros. El arreglo factorial se origina cuando se dispone de varios factores a varios niveles cada uno, donde se denotan A, B, C y los niveles se representan con letras minúsculas, números o caracteres alfanuméricos. La tabla 23 representa este tipo de diseño.

Los factores pueden ser simétrico o asimétrico, el primero se origina cuando el número de niveles por factor es igual, el segundo cuando es diferente.

**Tabla 23.** Tipos de arreglos factoriales

Simétrico:

A	B	C
Ao	Bo	Co
A1	B1	C1

Asimétrico:

A	B	C	D
Ao	Bo	Co	Do
A1	B1	C1	D1
	B2	C2	D2
		C3	D3
		C4	

Fuente: Mejía, 2015

Los factores en un arreglo pueden ser dispuestos en forma numérica, letras, binaria y siempre son definidos por el investigador, de antemano, acudiendo a su experiencia sobre unidad experimental o su inquietud por encontrar a través de ellos, niveles óptimos de un proceso.

Los niveles son dobles, triples o múltiples y los factores se clasifican en los siguientes tipos:

**Nulifactorial:** Cuando no existe ningún factor bajo estudio.

**Unifactorial:** Solo existe un factor a diferentes niveles.

**Bifactorial:** Se dispone de 2 factores en un arreglo.

**Multifactorial:** Es el tipo de arreglo más importante dentro de la estadística experimental, ya que este permite interacciones de diferentes órdenes como dobles, triples, cuádruples y analizar efectos cruzados, simples, entre otros.

Este arreglo permite también, optimizar la superficie de respuesta y analizar operaciones evolutivas (EVOP) dentro de optimización de procesos.

Los tratamientos se originan al interaccionar los niveles que se ejemplifican en la tabla 24. En este caso, tal como muestra la figura 7, el diagrama de árbol es sumamente útil.

**Tabla 24.** Ejemplo de niveles

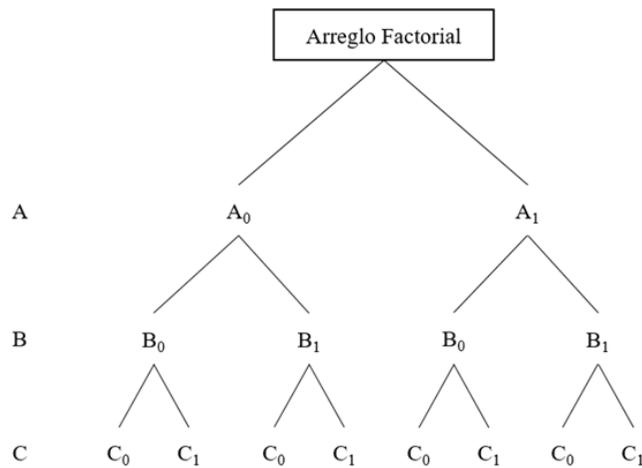
A	B	C
A <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>
A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>

Fuente: Los autores

Cada factor tiene 2 niveles a (A<sub>0</sub>-A<sub>1</sub>, B<sub>0</sub>-B<sub>1</sub> y C<sub>0</sub>-C<sub>1</sub>), lo cual quiere decir que es un arreglo  $2^3$ , porque

$2 \times 2 \times 2 = 2^3 = 8$  Tratamientos creados y establecidos así:

**Figura 7.** Diagrama de árbol



Fuente: Mejía, 2015

Tratamientos:

A<sub>0</sub> B<sub>0</sub> C<sub>0</sub>

A<sub>0</sub> B<sub>0</sub> C<sub>1</sub>

A<sub>0</sub> B<sub>1</sub> C<sub>0</sub>

A<sub>0</sub> B<sub>1</sub> C<sub>1</sub>

A<sub>1</sub> B<sub>0</sub> C<sub>0</sub>

A<sub>1</sub> B<sub>0</sub> C<sub>1</sub>

A<sub>1</sub> B<sub>1</sub> C<sub>0</sub>

A<sub>1</sub> B<sub>1</sub> C<sub>1</sub>

Los tipos de arreglos factoriales más comunes son  $2^2, 2^3, 3^2, 3^3$  siendo estos de índole simétrica. Cuando es de índole asimétrica se representa como se sugiere en la tabla 25.

**Tabla 25.** Arreglos factoriales comunes de índole asimétrica

A	B	C	D
Ao	Bo	Co	Do
A1	B1	C1	D1
	B2		D2
			D3

Fuente: Los autores

$$2 \times 3 \times 2 \times 4 = 2^2 \times 3 \times 4 = 48 \text{ Tratamientos}$$

### Ventajas

- El arreglo factorial se aplica cuando el investigador desea obtener los niveles más adecuados para un cultivo, proceso industrial o agroindustrial, biotecnológico, entre otros.
- Permite interacciones entre factores; además, se pueden conocer los efectos simples, principales, cruzados.
- Minimiza el error experimental, cuando se encuadra el arreglo en un diseño adecuado.
- Permite la estimación de datos faltantes.
- Es de vital importancia cuando se desea estimar el efecto del medioambiente en el tratamiento, o a través del tiempo o el efecto en diferentes medios.
- Sirve para la evaluación de variedades, híbridos y cultivares en el ámbito de mejoramiento genético de plantas.

La notación del arreglo factorial se realiza por los métodos: tradicional (visto con anterioridad), numérica (tanto niveles como factores se denotan con números) y de tercer tipo o  $\alpha$ -numérica (combina los dos anteriores).

El cálculo y construcción de la Anava se hará con base en el arreglo 2<sup>3</sup> en este documento, así:

1. Cálculo de la suma de cuadrado total:

$$S C_{Total} = \sum y_i^2 - \frac{(y_i)^2}{n}$$

2. Cálculo para cada factor (A, B, C, respectivamente, cada uno con 2 niveles).

Para A:

$$S C_A = \sum \frac{\sum A_i^2}{r} - F C$$

Para B:

$$S C_B = \sum \frac{\sum B_i^2}{r} - F C$$

Para C:

$$S C_C = \sum \frac{\sum C_i^2}{r} - F C$$

3. Son calculadas las interacciones de primer orden:

A x B:

$$S C_{AxB} = \sum \frac{\sum A_0 B_0}{r} + \frac{\sum A_0 B_1}{r} + \frac{\sum A_1 B_0}{r} + \frac{\sum A_1 B_1}{r} - F C - S C_A - S C_B$$

A x C:

$$S C_{AxC} = \sum \frac{\sum A_0 C_0}{r} + \frac{\sum A_0 C_1}{r} + \frac{\sum A_1 C_0}{r} + \frac{\sum A_1 C_1}{r} - F C - S C_A - S C_C$$

B x C:

$$S C_{BxC} = \sum \frac{\sum B_0 C_0}{r} + \frac{\sum B_0 C_1}{r} + \frac{\sum B_1 C_0}{r} + \frac{\sum B_1 C_1}{r} - F C - S C_B - S C_C$$

4. Se calcula la interacción de segundo orden (A x B x C):

$$S C_{AxBxC} = \sum \frac{\sum A_0 B_0 C_0}{r} + \frac{\sum A_0 B_0 C_1}{r} + \frac{\sum A_0 B_1 C_0}{r} + \frac{\sum A_0 B_1 C_1}{r} + \frac{\sum A_1 B_0 C_0}{r} + \frac{\sum A_1 B_0 C_1}{r} + \frac{\sum A_1 B_1 C_0}{r} + \frac{\sum A_1 B_1 C_1}{r} - F C - S C_A - S C_B - S C_C - S C_{AxB} - S C_{AxC} - S C_{BxC}$$

5. Se halla la suma de cuadrado del tratamiento:

$$S C_{Tto} = S C_A + S C_B + S C_C + S C_{AxB} + S C_{AxC} + S C_{BxC} + S C_{AxBxC}$$

6. Calcula la suma de cuadrado del error experimental:

$$S C_{ErrorExp} = S C_{Total} - S C_{Tto}$$

Nota: Las réplicas (r) para cada suma de cuadrado depende del número de datos de cada una, exclusivamente. Posteriormente se construye el análisis de varianza. En la tabla 26 se ilustra dicho procedimiento.

**Tabla 26.** Análisis de varianza para diseño en arreglo factorial

FV	GL	SC	CM	f <sub>Calculado</sub>	F <sub>Tabla, 5%, 1%</sub>
<b>Tratamientos</b>	$GL_A + GL_B + GL_C$ $+ GL_{AxB} + GL_{AxC} + GL_{BxC}$ $+ GL_{AxBxC}$	$SC_{Tto} (*)$	$\frac{SC_{Tratamientos}}{GL_{Tratamientos}}$	$\frac{CM_{Tratamientos}}{CM_{ErrorExp}}$	$(GL_{Tto}, GI_{Error})$
<b>A</b>	Nº Niveles(A)-1	$SC_A (*)$	$\frac{SC_A}{GL_A}$	$\frac{CM_A}{CM_{ErrorExp}}$	$(GL_A, GI_{Error})$
<b>B</b>	Nº Niveles(B)-1	$SC_B (*)$	$\frac{SC_B}{GL_B}$	$\frac{CM_B}{CM_{ErrorExp}}$	$(GL_B, GI_{Error})$
<b>C</b>	Nº Niveles(C)-1	$SC_C (*)$	$\frac{SC_C}{GL_C}$	$\frac{CM_C}{CM_{ErrorExp}}$	$(GL_C, GI_{Error})$
<b>AxB</b>	$GL_A * GL_B$	$SC_{AxB} (*)$	$\frac{SC_{AxB}}{GL_{AxB}}$	$\frac{CM_{AxB}}{CM_{ErrorExp}}$	$(GL_{AxB}, GI_{Error})$
<b>AxC</b>	$GL_A * GL_C$	$SC_{AxC} (*)$	$\frac{SC_{AxC}}{GL_{AxC}}$	$\frac{CM_{AxC}}{CM_{ErrorExp}}$	$(GL_{AxC}, GI_{Error})$

<b>BxC</b>	$GL_B * GL_C$	$SC_{BxC(*)}$	$\frac{SC_{BxC}}{GL_{BxC}}$	$\frac{CM_{BxC}}{CM_{ErrorExp}}$	$(GL_{BxC}, GL_{Error})$
<b>AxBxC</b>	$GL_A * GL_B * GL_C$	$SC_{AxBxC(*)}$	$\frac{SC_{AxBxC}}{GL_{AxBxC}}$	$\frac{CM_{AxBxC}}{CM_{ErrorExp}}$	$(GL_{AxBxC}, GL_{Error})$
<b>Error Exp.</b>	$GL_{Total} - GL_{Tratamiento}$	$SC_{Total} - SC_{Tratamiento}$	$\frac{SC_{ErrorExp}}{GL_{ErrorExp}}$		
<b>Total</b>	n-1	$\sum y_{ijs}^2 - \frac{(\sum y_{ijs})^2}{n}$			

Fuente: Mejía, 2015

(\*) Cálculos definidos antes de la construcción de la Anava.

Si  $f_{calc} < f_{tabla(0.05, 0.01)}$  : El modelo no es significativo.

Si  $f_{calc} \geq f_{tabla(0.05)}$  El modelo es significativo y se denota al lado del valor de F calculado con un asterisco (\*), indicando que el modelo se explica con un 95 % de confiabilidad.

Si  $f_{calc} \geq f_{tabla(0.01)}$  El modelo es altamente significativo y se denota al lado del valor de F calculado con dos asteriscos (\*\*), indicando que el modelo se explica con un 99 % de confiabilidad.

### Ejercicio de diseño experimental en arreglo factorial

Un investigador dedicado a la investigación de operaciones desea evaluar dos (2) tiempos de empacado, dos (2) tipos de empaque y dos (2) sistemas de almacenamiento. El diseño a establecer es del tipo arreglo factorial  $2^3$  (2x2x2), planteándose 8 tratamientos provenientes de la combinación de los factores anteriormente mencionados.

La variable medida fue tiempo de duración del producto almacenado en días. En tabla 27 que se presenta a continuación, se indican los datos del ejercicio.

**Tabla 27.** Ejemplo de diseño en arreglo factorial

Tiempo	Tipo	Sistema	Repeticiones					Total
			1	2	3	4	5	
1	1	1	16.3	16.6	15.9	16.7	16.9	82.4
1	1	2	15.4	15.5	15.6	11.5	12.3	70.3
1	2	1	14.8	14.3	12.1	11.8	13.5	66.5
1	2	2	12.2	13.3	14.5	16.1	15.4	71.5
2	1	1	13.3	14.5	15.6	15.4	14.8	73.6
2	1	2	14.1	16.4	16.1	15.9	15.8	78.3
2	2	1	17.3	18.4	18.8	17.4	16.3	88.2
2	2	2	12.1	10.1	11.8	12	12.1	58.1

Fuente: Mejía, 2015

1. Se calcula la suma de cuadrado total:

$$S C_{Total} = 16.3^2 + 16.6^2 + \dots + 12.1^2 - \frac{(16.3 + 16.6 + \dots + 12.1)^2}{40}$$

$$\rightarrow S C_{Total} = 8840.59 - 8670.08 = 170.51$$

2. Se calculan las sumas de cuadrados para cada factor, individualmente:

Para Tiempo:

$$S C_A = \frac{(82.4 + 70.3 + 66.5 + 71.5)^2 + (73.6 + 78.3 + 88.2 + 58.1)^2}{20} - 8670.08 = 14063$$

Para Tipo:

$$S C_B = \frac{(82.4 + 70.3 + 73.6 + 78.3)^2 + (66.5 + 71.5 + 88.2 + 58.1)^2}{20} - 8670.08 = 10302$$

Para Sistema:

$$S C_C = \frac{(82.4 + 66.5 + 73.6 + 88.2)^2 + (70.3 + 71.5 + 78.3 + 58.1)^2}{20} - 8670.08 = 26406$$

3. Se calculan las sumas de cuadrados para las interacciones simples (entre pares de factores):

Tiempo x Tipo:

$$S C_{AxB} = \frac{(82.4 + 70.3)^2 + (66.5 + 71.5)^2 + (73.6 + 78.3)^2 + (88.2 + 58.1)^2}{10} - 8670.08 - 14063 - 10302 = 207$$

Tiempo x Sistema:

$$S.C.AxC = \frac{(8.24 + 6.65)^2 + (7.03 + 7.15)^2 + (7.36 + 8.82)^2 + (7.83 + 5.81)^2}{10} - 8670.08 - 1.4063 - 2.6406 = 83.7$$

Tipo x Sistema:

$$S.C.BxC = \frac{(8.24 + 7.36)^2 + (7.03 + 7.83)^2 + (6.65 + 8.82)^2 + (7.15 + 5.81)^2}{10} - 8670.08 - 1.0302 - 2.6406 = 78.3$$

4. Se calcula la suma de cuadrados para la interacción de segundo orden; es decir, la interacción de los 3 factores bajo investigación:

$$S.C.AxBxC = \frac{8.24^2 + 7.03^2 + 6.65^2 + 7.15^2 + 7.36^2 + 7.83^2 + 8.82^2 + 5.81^2}{5} - 8670.08 - 1.4063 - 1.0302 - 2.6406 - 2.07 - 8.37 - 7.83 = 6.734$$

5. Se halla la suma de cuadrado del tratamiento que es la sumatoria de las anteriores sumas de cuadrados, salvo la suma de cuadrado total:

$$S.C.Trata = 1.4063 + 1.0302 + 2.6406 + 2.07 + 8.37 + 7.83 + 6.734 = 123.724$$

6. Se halla la suma de cuadrado del error experimental, a través de la diferencia entre la suma de cuadrado total y la suma de cuadrado del tratamiento:

$$S.C.Error.Exp = 170.51 - 123.724 = 46.79$$

7. Se construye el análisis de varianza (Anava) como se aprecia en la tabla 28:

**Tabla 28.** Análisis de varianza para diseño en arreglo factorial, ejercicio resuelto

FV	GL	SC	CM	F calculado	F tabla 5 % 1 %
			$\frac{123.724}{7} = 17.7$	$\frac{17.7}{1.46} = 12.12^{**}$	
Tratamiento	7	123.724	7	1.46	(7,32)=2.33 3.30
A	1	1.4063	1.4063	$\frac{1.4063}{1.46} = 0.96$	(1,32)=4.17 7.56
B	1	10.302	10.302	$\frac{10.302}{1.46} = 7.06^*$	(1,32)=4.17 7.56
C	1	26.406	26.406	$\frac{26.406}{1.46} = 18.09^{**}$	(1,32)=4.17 7.56
AxB	1	2.07	2.07	$\frac{2.07}{1.46} = 1.42$	(1,32)=4.17 7.56
AxC	1	8.37	8.37	$\frac{8.37}{1.46} = 5.73^*$	(1,32)=4.17 7.56
BxC	1	7.83	7.83	$\frac{7.83}{1.46} = 5.36^*$	(1,32)=4.17 7.56
AxBxC	1	67.34	67.34	$\frac{67.34}{1.46} = 46.12^{**}$	(1,32)=4.17 7.56
Error	39-		$\frac{46.79}{32} = 1.46$		
Experimental	7=32	46.79	32		
Total	39	170.51			

Fuente: Mejía, 2015

Interpretación: Existe un efecto altamente significativo para las fuentes de variación *Tratamiento* y para el factor *Sistema* y para la interacción de segundo orden (Tiempo x Tipo x Sistema); mientras que existe un efecto significativo para la fuente de variación *Tipo* y las interacciones “Tiempo x Sistema” y *Tipo x Sistema*.

#### 4.7. Diseños experimentales complejos (longitudinales en el tiempo)

Cuando un diseño experimental es analizado a través del tiempo o espacio es llamado diseño complejo, dado que se genera una fuente de variación adicional que interacciona con las demás fuentes de variación. El método más sencillo de llevar a cabo dichos experimentos es por año o ciclo productivo.

No obstante, es posible que haya cambios entre series, por diferentes razones, ya sean estas de índole climatológica, patológica, nutricional, entre otros y afectar el análisis individual por periodo, resultando más conveniente: realizar un análisis general longitudinal en el tiempo y poder determinar la significancia exacta de cada fuente de variación.

Este diseño posee la ventaja de fusionarse con los demás diseños experimentales, aumentando una fuente de variación adicional llamada “serie”.

Su cálculo es realizado con base en el diseño experimental sobre el cual está el montaje del estudio, aunque para este caso será visto bajo un diseño completamente aleatorizado, lo cual se aprecia en la tabla 23.

**Tabla 29.** Análisis de varianza para complejo longitudinal en el tiempo

FV	GL	SC	CM	$f_{\text{Calculado}}$	$F_{\text{Tabla}}, 5\%, 1\%$
Tratamiento	$k - 1$	$\sum \frac{\sum T_i^2}{r} - FC$	$\frac{SC_{\text{Tratamiento}}}{GL_{\text{Tratamiento}}}$	$\frac{CM_{\text{Tratamiento}}}{CM_{\text{ErrorExp}}}$	$(GL_{\text{Tratamiento}}, GL_{\text{Error}})$
Serie	$n_{\text{series}} - 1$	$\sum \sum \frac{(\text{Serie})^2}{n/\text{serie}} - FC$	$\frac{SC_{\text{Serie}}}{GL_{\text{Serie}}}$	$\frac{CM_{\text{Serie}}}{CM_{\text{ErrorExp}}}$	$(GL_{\text{Serie}}, GL_{\text{Error}})$
Tratamiento x Serie	$GL_{T_{\text{to}}} * GL_{\text{Serie}}$	$\sum \sum \frac{(T_i/\text{serie})^2}{r/\text{serie}} - FC$ $- SC_{T_{\text{to}}} - SC_{\text{Serie}}$	$\frac{SC_{T_{\text{to}} * \text{Serie}}}{GL_{T_{\text{to}} * \text{Serie}}}$	$\frac{CM_{T_{\text{to}} * \text{Serie}}}{CM_{\text{ErrorExp}}}$	$(GL_{T_{\text{to}} * \text{Serie}}, GL_{\text{Error}})$
Error Experimental	$GL_{\text{Total}} - GL_{T_{\text{to}}}$ $- GL_{\text{Serie}} - GL_{T_{\text{to}} * \text{Serie}}$	$SC_{\text{Total}} - SC_{T_{\text{to}}}$ $- SC_{\text{Serie}} - SC_{T_{\text{to}} * \text{Serie}}$	$\frac{SC_{\text{ErrorExp}}}{GL_{\text{ErrorExp}}}$		
Total	$n - 1$	$\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n}$			

Fuente: Mejía, 2015

Si  $f_{\text{calc}} < f_{\text{tabla}(0.05, 0.01)}$ : El modelo no es significativo.

Si  $f_{\text{calc}} \geq f_{\text{tabla}(0.05)}$  El modelo es significativo y se denota al lado del valor de F calculado con un asterisco (\*), indicando que el modelo se explica con un 95 % de confiabilidad.

Si  $f_{\text{calc}} \geq f_{\text{tabla}(0.01)}$  El modelo es altamente significativo y se denota al lado del valor de F calculado con dos asteriscos (\*\*), indicando que el modelo se explica con un 99 % de confiabilidad.

### Ejercicio de diseño complejo longitudinal en el tiempo

Se evaluó la producción de biomasa por planta para 3 especies forestales en 2 periodos de tiempo a un año de diferencia entre ambos. Los datos obtenidos se plasman en la tabla 30 y son de un bosque con características ambientales homogéneas para las especies.

**Tabla 30.** Datos para diseño longitudinal en el tiempo

Periodo I					Periodo II						
Especie	1	2	3	4	$\sum SPP$	Especie	1	2	3	4	$\sum SPP$
A	15,4	16,1	15,8	15,7	63	A	15,5	15,9	16	15,8	63,2
B	13,2	13,2	13,6	13,9	53,9	B	13,6	13,1	13,2	13,3	53,2
C	14,1	14,3	14,7	14,2	57,3	C	14,4	14,3	14,7	14,6	58

$\sum PeriodoI=174,2$	$\sum PeriodoII=174,4$
$\sum A=126,6$	
$\sum B=107,1$	
$\sum C=115,3$	

Fuente: Mejía, 2015

1. Se calcula la suma de cuadrado total:

$$S C_{Total} = 15,4^2 + 16,1^2 + \dots + 14,6^2 - \frac{(15,4 + 16,1 + \dots + 14,6)^2}{24}$$

$$\rightarrow S C_{Total} = 5087,68 - 5063,42 = 24,26$$

2. Se estima la suma de cuadrado por tratamiento (cada especie en este ejercicio):

$$S C_{spp} = \frac{126,6^2}{8} + \frac{107,1^2}{8} + \frac{115,3^2}{8} - 5063,42 = 166,4$$

3. Se estima la suma de cuadrado por cada periodo de evaluación (cada año en este caso):

$$S C_{Periodo} = \frac{174,2^2}{12} + \frac{174,4^2}{12} - 5063,42 = 0$$

4. Se calcula la interacción Especie x Año:

$$S C_{Spp \times Periodo} = \frac{6,3^2}{4} + \frac{5,39^2}{4} + \frac{5,73^2}{4} + \frac{6,32^2}{4} + \frac{5,32^2}{4} + \frac{5,8^2}{4} - 5063,42 - 166,4 - 0 = 6,44$$

5. Se calcula la suma de cuadrado del error experimental:

$$S C_{ErrorExp} = 24,26 - 166,4 - 0 - 6,44 = 1,18$$

6. Se construye el análisis de varianza (Anava):

**Tabla 31.** Análisis de varianza para complejo longitudinal en el tiempo, ejercicio resuelto

FV	GL	SC	CM	F calculado	F tabla 5 % 1 %
Especie	2	16.64	$\frac{16.64}{2} = 8.32$	$\frac{8.32}{0.07} = 118.9^{**}$	(2,18)=3.55 6.01
Periodo	1	0	0	0	(1,18)=4.41 8.29
Especie x Periodo	2	6.44	$\frac{6.44}{2} = 3.22$	$\frac{3.22}{0.07} = 46^{**}$	(2,18)=3.55 6.01
Error Experimental	23-2-1-2=18	1.18	$\frac{1.18}{18} = 0.07$		
Total	23	24.26			

Fuente: Mejía, 2015

Interpretación: Como se aprecia en la tabla 31, existe un efecto altamente significativo de la fuente de variación “Especie” y de su respectiva interacción con el periodo de tiempo; indicando que la biomasa de las especies forestales difiere con un 99 % de confiabilidad.

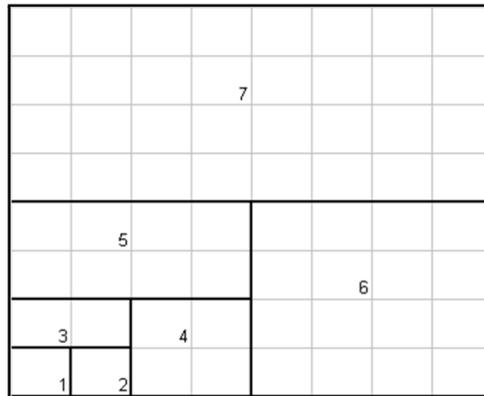
#### 4.8. Diseño experimental jerárquico o anidado

Este tipo de muestreo está basado en el diseño experimental jerárquico o anidado, que se basa en el criterio de submuestreo y es útil cuando la variable que se está evaluando es susceptible de variabilidad en función del tiempo o del espacio, lo cual indica desconocimiento acerca de la población bajo estudio.

El muestreo anidado está basado en la repetición del muestreo a diferentes intervalos para detectar la variabilidad en cada uno de ellos, lo cual es corroborado por Montgomery (2003), cuando indica que un diseño anidado puede usarse para identificar las fuentes principales de variabilidad en la respuesta. Lo cual determina el cambio de la misma en los diferentes intervalos de muestreo y de esta manera definir el comportamiento real y la dinámica de la variable bajo estudio.

Este método posee la ventaja de ser utilizado como muestreo preliminar, permitiendo estimar la distancia de muestreo más eficiente. No obstante, debe determinarse el tamaño de las unidades con base en el modelo presentado a continuación en la figura 8.

**Figura 8.** Modelo de diseño jerárquico o anidado



Fuente: Mejía, 2015

El diseño es de la forma (Montgomery, 2003):

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_{j(i)} + \gamma_{k(j)} + \varepsilon_{(ijk)l} \begin{cases} i = 1, 2, 3, \dots, a \\ j = 1, 2, 3, \dots, b \\ k = 1, 2, 3, \dots, c \\ l = 1, 2, 3, \dots, n \end{cases}$$

Donde:

$\mu$ : Efecto promedio de la variable.

$\tau_i = A$ : Efecto del factor A.

$\beta_{j(i)} = B(A)$ : Efecto del factor B dentro del factor A.

$\gamma_{k(j)} = C(B)$ : Efecto del factor C dentro del factor B.

$\varepsilon_{ijk(l)} = ErrorExperimental = D(C)$ : Efecto del factor D dentro del factor C, es lo mismo que el error experimental.

Un número de niveles adecuado es cuatro, debido a que es la cifra mínima que permite detectar cambios consistentes en la pendiente del variograma que se genere, por lo tanto, en estudios de índole ambiental se maneja siempre hasta el factor D, aunque por cuestiones de operatividad en la toma de datos y como regla arbitraria se ha utilizado el sistema 7x2x2x2, el cual indica 7 áreas de factor A, 2 áreas de factor B dentro de cada área de factor A, 2

áreas de factor C, dentro de cada área de factor B obtenida y 2 áreas de factor D dentro de cada área de factor C obtenido, generándose 56 unidades de muestreo. Aunque es posible también manejar el sistema 2x2x2x2, el cual es más operativo y económico a pesar de tener la desventaja de correr mayor riesgo de imprecisión. El análisis de varianza (Anava) para el diseño anidado se aprecia en la tabla 32.

**Tabla 32.** Análisis de varianza para diseño jerárquico o anidado

FV	GL	SC	CM	$t_{\text{Calculado}}$	$F_{\text{Tabla } .5\%1\%}$
A	$a - 1$	$\sum_i \frac{y_{i..}^2}{bcn} - \frac{(\sum y_{ij..})^2}{n}$	$\frac{SC_A}{GL_A}$	$\frac{CM_A}{CM_{B(A)}}$	
B (dentro de A)	$a(b-1)$	$\sum_i \sum_j \frac{y_{ij.}^2}{cn} - \sum_i \frac{y_{i..}^2}{bcn}$	$\frac{SC_{B(A)}}{GL_{B(A)}}$	$\frac{CM_{B(A)}}{CM_{C(B)}}$	$(GL_{B(A)}, GL_{C(B)})$
C (dentro de B)	$ab(c-1)$	$\sum_i \sum_j \sum_k \frac{y_{ijk}^2}{n} - \sum_i \sum_j \frac{y_{ij.}^2}{cn}$	$\frac{SC_{C(B)}}{GL_{C(B)}}$	$\frac{CM_{C(B)}}{CM_{ErrorExp}}$	$(GL_A, GL_{B(A)})$ $(GL_{C(B)}, GL_{Error})$
Error Exp.	$abc(n-1)$	$\sum_j \sum_k \sum_l \frac{y_{jkl}^2}{n} - \sum_i \sum_j \sum_k \frac{y_{ijk}^2}{n}$	$\frac{SC_{ErrorExp}}{GL_{ErrorExp}}$		
<b>Total</b>	$n-1$	$\sum y_{ij..}^2 - \frac{(\sum y_{ij..})^2}{n}$			

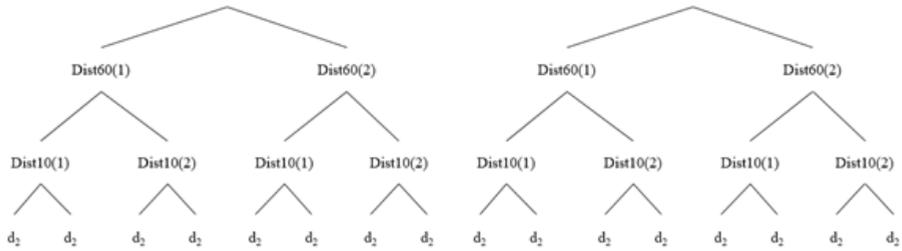
Fuente: Mejía, 2015

Como complemento al análisis de varianza se construye el gráfico de las varianzas acumuladas contra las distancias expresadas logarítmicamente y conocido como variograma, el cual es de amplia aplicación en el estudio de la geoestadística y evaluaciones de impacto ambiental, cuyo criterio es que la distancia donde se observe un cambio marcado en la pendiente de la curva, constituye la distancia que mejor resuelve el patrón de variación de la variable.

### Ejercicio diseño experimental jerárquico o anidado

En una investigación se desea determinar el comportamiento del peso en gramos de biomasa seca de follaje de cierto arbusto en función del espacio (al interior de una sucesión vegetal). Para el estudio se establecieron arbitrariamente 2 distancias de 250 metros (factor A), de esas 2, se tomaron 2 distancias de 60 metros (factor B), a su vez, del factor B se tomaron 2 distancias de 10 metros (factor C) y por último se tomaron 2 distancias, extraídas del factor C (factor D) y se tomaron 2 lecturas (repeticiones) por unidad de muestreo, dado que  $2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$  unidades de muestreo y cuyo diagrama de árbol se aprecia en la figura 9 y cuyos datos para análisis se presentan en la tabla 33 respectivamente.

**Figura 9.** Diseño anidado para estudio de biomasa



Fuente: Mejía, 2015

**Tabla 33.** Datos para ejemplo de diseño jerárquico

Distancia 250 (1)							
Distancia 60 (1)				Distancia 60 (2)			
Dist*10 (1)	Dist 10 (2)			Dist 10 (1)	Dist 10 (2)		
d2	d2	d2	d2	d2	d2	d2	d2
5.1	5.6	6.1	5.8	5.4	5.7	5.9	6
5.3	5.7	6.3	5.9	5.5	5.8	5.9	6.1

Distancia 250 (2)							
Distancia 60 (1)				Distancia 60 (2)			
Dist * 10 (1)	Dist 10 (2)			Dist 10 (1)	Dist 10 (2)		
d2	d2	d2	d2	d2	d2	d2	d2
6.2	6	5.5	5.7	5.5	5.3	5.4	5.6
6.1	6.3	5.4	5.3	5.4	5.5	5.2	5.1

\* Distancia.

Fuente: Mejía, 2015

Los pasos a seguir son los siguientes de manera secuencial:

1. Se calcula la suma de cuadrado total:

$$S C_{Total} = 5.1^2 + 5.3^2 + \dots + 5.1^2 - \frac{(5.1 + 5.3 + \dots + 5.1)^2}{3 \cdot 2} = 1034.32 - 1030.58 = 3.74$$

2. Se calcula la suma de cuadrado del factor A (distancia de 250 m):

$$S C_A = \frac{(5.1+5.3+\dots+6.1)^2 + (6.2+6.1+\dots+5.1)^2}{16} - 1030.58 = 1030.79 - 1030.58 = 0.21$$

3. Se calcula la suma de cuadrado de B(A) (distancia de 60 dentro de 250 m):

$$= \frac{(5.1+\dots+5.9)^2 + (5.4+\dots+6.1)^2 + (6.2+\dots+5.3)^2 + (5.5+\dots+5.1)^2}{8} - 1030.79 \rightarrow$$

$$= 1031.57 - 1030.79 = 0.78$$

4. Se calcula la suma de cuadrado de C(B) (distancia de 10 dentro de 60 m):

$$S C_{C(B)} = \frac{(5.1+\dots+5.7)^2 + (6.1+\dots+5.9)^2 + \dots + (5.4+\dots+5.1)^2}{8} - 1031.57 \rightarrow$$

$$S C_{C(B)} = 1033.51 - 1031.57 = 1.94$$

5. Se calcula la suma de cuadrado de D(C) (distancia de 2 dentro de 10 m):

$$S C_{D(C)} = \frac{(5.1+5.3)^2 + (5.6+5.7)^2 + \dots + (5.6+\dots+5.1)^2}{8} - 1033.51 \rightarrow$$

$$S C_{D(C)} = 1033.95 - 1033.51 = 0.44$$

6. Se construye el Anava y sus resultados se integran como se aprecia en la tabla 28.

**Tabla 34.** Análisis de varianza para diseño jerárquico o anidado, ejercicio resuelto

FV	GL	SC	CM	f <sub>Calculado</sub>	F <sub>Tabla</sub> .5% .1%
A	2-1=1	0.21	$\frac{0.21}{1} = 0.21$	$\frac{0.21}{0.39} = 0.54$	(1,2) = 18.51 y 98.5
B(dentro de A)	2(2-1)=2	0.78	$\frac{0.78}{2} = 0.39$	$\frac{0.39}{0.485} = 0.8$	(2,4) = 6.94 y 18
C(dentro de B)	2*2(2-1)=4	1.94	$\frac{1.94}{4} = 0.485$	$\frac{0.485}{0.0337} = 14.4$ (**)	(4,24) = 2.78 y 4.22
D(dentro de C)	31-1-2-4=24	$\frac{3.74-0.21-0.78-1.94}{24}=0.81$	$\frac{0.81}{24} = 0.03375$		
<b>Total</b>	32-1=31	3.74			

Fuente: Mejía, 2015

Interpretación: Se aprecia que existe diferencia significativa para C (D), lo cual indica que para la distancia 10(60) m se encuentra la mayor variabilidad, indica que existe gran incremento entre 10 y 60 m. Muestrear a distancias mayores de 60 m resulta en una información demasiado variable. Muestrear a distancias menores de 10 m resulta innecesariamente intenso e indica que se puede muestrear entre 10 y 60 m, la biomasa seca de follaje del arbusto evaluado.

## Introducción a la estadística no paramétrica

### Intervalo de confianza para una media poblacional

Es la inferencia estadística para un promedio poblacional, cuando los datos no se distribuyen en forma normal, pero se conoce la varianza, desviación estándar o coeficiente de variación, teniendo en cuenta que el tamaño de la muestra es pequeño.

$$\left( \bar{x} - \frac{k * \sigma}{\sqrt{n}} \leq M \leq \bar{x} + \frac{k * \sigma}{\sqrt{n}} \right) = 1 - \frac{1}{k^2} \quad \text{Donde } k = \sqrt{\frac{1}{\alpha}}$$

### Ejercicio de intervalo de confianza para una media poblacional

Se tiene una muestra de 10 jóvenes que calificaron un servicio de 1 a 10, siendo la calificación promedio de 7,5 con una desviación estándar de 1,5; sin embargo, los datos no se distribuyen en forma normal.

Hallar el respectivo intervalo de confianza bajo una confiabilidad del 95 %.

Dado que  $\beta = 0.95$ , entonces  $\alpha = 0.05$

$$\text{Por lo tanto } k = \sqrt{\frac{1}{0.05}} = 4.47$$

Y se reemplazan los datos en el respectivo intervalo:

$$\left( 7.5 - \frac{4.47 * 1.5}{\sqrt{10}} \leq M \leq 7.5 + \frac{4.47 * 1.5}{\sqrt{10}} \right) = 0.95$$

Por lo tanto:

$$(5.38 \leq M \leq 9.62) = 0.95$$

Interpretación: Bajo una confiabilidad del 95 % se infiere que la calificación oscila entre 5.38 y 9.62.

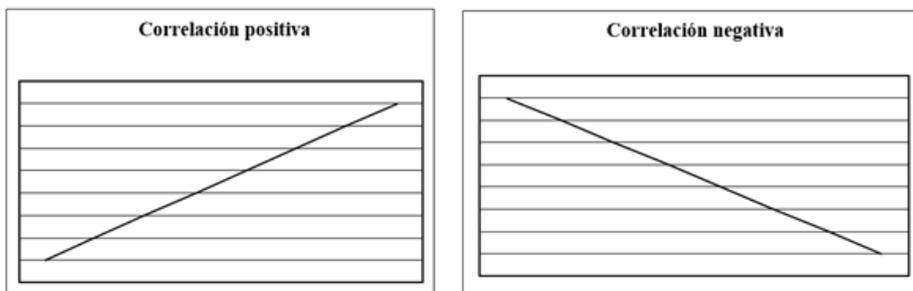
### Correlación de Spearman:

Esta sirve para establecer el grado de asociación o relación entre un par de variables o un conjunto disponible de ellas.

### Propiedades

- $-1 \leq \gamma \leq 1$
- Si  $\gamma = 0$  indica independencia de variables.
- Si  $\gamma = 1$  indica relación perfecta entre variables, es decir,  $y$  depende de  $x$  positivamente.
- Si  $\gamma = -1$  indica relación perfecta entre variables, es decir,  $y$  depende de  $x$  negativamente.
- Comienza a darse correlación cuando  $\gamma = 0.8$  o  $\gamma = -0.8$ . La figura 10 las correlaciones positiva y negativa.

**Figura 10.** Tipos de correlaciones



Fuente: Mejía, 2015

Este coeficiente mide la correlación entre 2 variables, pero posee la cualidad que no requiere una tendencia lineal en el par de datos analizados, lo cual lo hace aplicable en correlaciones de datos que no se distribuyen de una manera paramétrica.

$$\gamma_s = 1 - \frac{6 * \sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n^3 - n}$$

Se evaluó el número de familias beneficiadas por planes de vivienda en función del número de organizaciones participantes en la zona, se evaluaron 7 zonas aleatoriamente encontrándose (tabla 35):

**Tabla 35:** Datos para ejemplo de correlación de Spearman

Zona	No. de Organizaciones (x)	No. de familias beneficiadas (y)
1	7	23
2	4	18
3	5	17
4	6	21
5	8	25
6	2	15
7	10	25

Fuente: Mejía, 2015

En primera instancia se codifican de menor a mayor los valores tanto para el número de trampas como para el número de insectos, se restan los valores codificados (para obtener los *delta-i*) y dichas restas luego se elevan al cuadrado, para ser sumadas finalmente (tabla 36):

**Tabla 36:** Datos con variables codificadas

$x'$	$y'$	$\delta_i = x' - y'$	$\delta_i^2$
5	5	0	0
2	3	-1	1
3	2	1	1
4	4	0	0
6	6.5	-0.5	0.25
1	1	0	0
7	6.5	0.5	0.25
$\sum \delta_i^2$			2.5

Fuente: Mejía, 2015

Finalmente, se calcula la fórmula del coeficiente de correlación de *Spearman*:

$$\gamma_s = 1 - \frac{6 * 2.5}{7^3 - 7} = 0.9554$$

Interpretación:

Dado que el coeficiente de correlación de *Spearman* es cercano a 1, indica que existe correlación estrecha y directa entre el número de familias beneficiadas y el número de organizaciones que participan en las zonas, es decir, que a medida que aumenta la participación de organizaciones en las zonas, aumenta el número de familias beneficiadas.

### Prueba del signo

Esta prueba de rangos trabaja con base en el criterio de hipótesis nula que la mediana es estadísticamente igual a la mediana de referencia

$$H_0 : \tilde{\mu} = \tilde{\mu}_0$$

$$H_1 : \tilde{\mu} \neq \tilde{\mu}_0$$

Donde se acepta la hipótesis alternativa si el número de rachas positivas  $r^+$  es mayor de la mitad  $p = \frac{1}{2} = 0.5$

Si el número de rachas positivas es menor que  $n/2$  entonces se prueba:

$$P = 2P(R^+ \leq r^+ \text{ cuandop} = \frac{1}{2})$$

Y si el número de rachas positivas es mayor que  $n/2$  entonces se prueba:

$$P = 2P(R^+ \geq r^+ \text{ cuandop} = \frac{1}{2})$$

Se calcula bajo el modelo probabilístico binomial cuya función de densidad de probabilidad es el siguiente:

$$f(r) = \binom{n}{r} * P^r * (1-P)^{n-r}$$

Para esta prueba  $p=0.5$ , como se mencionó con antelación.

### Ejercicio prueba de signo

Se evaluó el pH de 10 muestras de suelo y se desea probar la hipótesis que difiere significativamente de 5,5 y cuyos datos son los indicados en la tabla 37 que se presenta a continuación.

**Tabla 37.** Datos de ejemplo de prueba de signo

Muestra No	Ph
1	5.3
2	5.2
3	5.8
4	5.9
5	6
6	6
7	5.4
8	5.9
9	5.3
10	5.7

Fuente: Mejía, 2015

La hipótesis se presenta a continuación:

$$H_0 : \tilde{\mu} = 5,5$$

$$H_1 : \tilde{\mu} \neq 5,5$$

Luego se hallan las diferencias de cada muestra con respecto al parámetro de referencia y se asigna el signo respectivo según si la diferencia obtenida es positiva o negativa. En la tabla 38 se evidencia este procedimiento.

**Tabla 38.** Análisis de signos

Muestra No	Ph	Diferencia	Signo
1	5.3	-0.2	-
2	5.2	-0.3	-
3	5.8	0.3	+
4	5.9	0.4	+
5	6	0.5	+
6	6	0.5	+
7	5.4	-0.1	-
8	5.9	0.4	+
9	5.3	-0.2	-
10	5.7	0.2	+

Fuente: Mejía, 2015

Debido a que el número de rachas positivas  $r^+ = 6$  es mayor que  $\frac{n}{2} = \frac{10}{2} = 5$

Entonces se aplica  $P = 2P(R^+ \geq r^+ \text{ cuando } p = \frac{1}{2})$ , así:

$$P = 2P(R^+ \geq 6 \text{ cuando } p = \frac{1}{2}) = 2 * \sum_{i=6}^{10} \binom{10}{i} * 0.5^i * 0.5^{10-i}$$

Y se calcula así.

$$2 * \left[ \binom{10}{6} * 0.5^6 * 0.5^{10-6} + \binom{10}{7} * 0.5^7 * 0.5^{10-7} + \binom{10}{8} * 0.5^8 * 0.5^{10-8} + \binom{10}{9} * 0.5^9 * 0.5^{10-9} + \binom{10}{10} * 0.5^{10} * 0.5^{10-10} \right]$$

Es decir:

$$2 * [0.2051 + 0.1172 + 0.0439 + 0.01 + 0.001] = 2 * [0.3772] = 0.7544$$

Dado que la confiabilidad es igual a 1-P, entonces:

$$\beta = (1 - 0.7544) * 100 = 24.56\%$$

Se concluye que no existe efecto significativo; es decir, que las lecturas de pH no difieren significativamente de la mediana (se aprueba la hipótesis nula que los rangos son iguales al parámetro de referencia).

### Aproximación normal de la prueba del signo

Se realiza la prueba de hipótesis donde se acepta la hipótesis alternativa si

$$|Z_o| \geq Z \alpha / 2$$

Y

$$Z_o = \frac{R^+ - 0.5n}{0.5 * \sqrt{n}}$$

Para el presente ejercicio:

$$Z_o = \frac{6 - 0.5 * 10}{0.5 * \sqrt{10}} = 0.6325$$

Dado que trabajamos con una confiabilidad del 95 %, la significancia será del 5 % y su estimador se halla en la tabla de distribución normal estándar:

$$Z_{\alpha/2} = Z_{0.05/2} = Z_{0.025} = 1.96$$

Finalmente, se aprecia que  $Z_o < Z_{\alpha/2}$  Se rechaza la hipótesis alternativa que existe diferencia significativa, corroborando los resultados de la prueba anterior.

#### 4.8.4 Prueba de rango con signo de Wilcoxon

Este trabaja con el estadístico de prueba:

$$W = \min(W^+, W^-)$$

Es decir, el valor mínimo entre las sumatorias de aquellos valores positivos y negativos organizados de menor a mayor.

Y se acepta la hipótesis alternativa si  $W \leq W_{0.05}$ , el cual es el valor de la tabla de Wilcoxon.

Retomando el ejemplo anterior se resuelve tal como lo apunta la tabla 39.

**Tabla 39.** Datos de ejemplo de prueba de rango de Wilcoxon

Muestra No	Ph	Diferencia
1	5.3	-0.2
2	5.2	-0.3
3	5.8	0.3
4	5.9	0.4
5	6	0.5
6	6	0.5
7	5.4	-0.1
8	5.9	0.4
9	5.3	-0.2
10	5.7	0.2

Fuente: Mejía, 2015

La hipótesis es la siguiente:

$$H_0 : \tilde{\mu} = 5,5$$

$$H_1 : \tilde{\mu} \neq 5,5$$

Luego se organizan las diferencias de menor a mayor (independientemente del signo que le acompaña) y se les codifica de menor a mayor, a los repetidos se les distribuye equitativamente el valor como en el caso de 0.2 que estaba en las posiciones 2, 3 y 4, respectivamente debiéndose sumar estos y dividir por 3 (el número de veces que se repite) y se obtiene que el valor del rango es de 3. La tabla tabla 40 indica el procedimiento.

**Tabla 40.** Registro de datos con sus respectivos signos

Muestra No	pH	Diferencia	Rango con signo
7	5.4	-0.1	-1
1	5.3	-0.2	-3
9	5.3	-0.2	-3
10	5.7	0.2	+3
2	5.2	-0.3	-5.5
3	5.8	0.3	+5.5
4	5.9	0.4	+7.5
8	5.9	0.4	+7.5
5	6	0.5	+9.5
6	6	0.5	+9.5

Fuente: Mejía, 2015

Luego se suman *independientemente del signo* de los  $W^+$  y los  $W^-$  :

$$W^+ = 3 + 5.5 + 7.5 + 7.5 + 9.5 + 9.5 = 42.5$$

$$W^- = 1 + 3 + 3 + 5.5 = 12.5$$

Se halla el estadístico de prueba  $W = \min(42.5, 12.5) = 12.5$

Luego se halla el valor de la tabla  $W_{0.05}(10) = 8$

Dado que  $W > W_{0.05}$  entonces se rechaza la hipótesis alternativa de que existe diferencia significativa entre las diferentes lecturas con respecto a aquella que es considerada parámetro de referencia.

### Aproximación normal de la prueba del signo

Se realiza la prueba de hipótesis donde se acepta la hipótesis alternativa si

$$|Z_o| \geq Z \alpha / 2$$

Y

$$Z_o = \frac{W^+ - \frac{n^*(n+1)}{4}}{\sqrt{\frac{n^*(n+1)*(2n+1)}{24}}}$$

Para el presente ejercicio:

$$Z_o = \frac{W^+ - \frac{n^*(n+1)}{4}}{\sqrt{\frac{n^*(n+1)*(2n+1)}{24}}} \rightarrow Z_o = \frac{42.5 - \frac{10*(10+1)}{4}}{\sqrt{\frac{10*(10+1)*(2*10+1)}{24}}} = \frac{42.5 - 27.5}{\sqrt{96.25}} = 1.53$$

Dado que trabajamos con una confiabilidad del 95 %, la significancia será del 5 % y su estimador se halla en la tabla de distribución normal estándar:

$$Z \alpha / 2 = Z 0.05 / 2 = Z 0.025 = 1.96$$

Finalmente, se aprecia que  $Z_o < Z \alpha / 2$  se rechaza la hipótesis alternativa que existe diferencia significativa, corroborando los resultados de la prueba anterior.

### Prueba de Wilcoxon para la comparación de observaciones pareadas

Trabaja con base en la siguiente prueba de hipótesis:

$$H_0 : \tilde{\mu}_1 = \tilde{\mu}_2$$

$$H_1 : \tilde{\mu}_1 \neq \tilde{\mu}_2$$

Como en el anterior, este también trabaja con el estadístico de prueba:

$$W = \min(W^+, W^-)$$

Es decir, el valor mínimo entre las sumatorias de aquellos valores positivos y negativos organizados de menor a mayor.

Y se acepta la hipótesis alternativa si  $W \leq W_{0.05}$ , el cual es el valor de la tabla de Wilcoxon.

### Ejercicio Prueba de Wilcoxon para la comparación de observaciones pareadas

Se está investigando acerca de la tasa de desgaste de cierta pieza para automóviles en 2 condiciones adversas de conducción y se obtuvieron los resultados enunciados en la tabla 41.

**Tabla 41.** Datos de ejemplo de prueba de Wilcoxon para la comparación de observaciones pareadas

Automóvil	Tasa de desgaste (%)	
	Condición 1	Condición 2
1	17.6	16.8
2	19.7	20
3	19.5	18.2
4	17.1	16.4
5	15.3	16
6	15.9	15.4
7	16.3	16.5
8	18.4	18
9	17.3	16.4
10	19.1	20.1
11	17.8	16.7
12	18.2	17.9

Fuente: Mejía, 2015

Evaluar si existe diferencia significativa en el desgaste bajo ambas condiciones: para ello se hallan primero las diferencias y se identifica el rango con signo igual como en el ejercicio para una muestra que puede ver en tabla (Tabla 41).

Luego, se hallan las diferencias para ambas condiciones y se presentan como se indica en la tabla 42.

**Tabla 42.** Diferencias existentes entre ambas condiciones

Automóvil	Tasa de desgaste (%)		Diferencia = Condición 1 - Condición 2	Rango con signo
	Condición 1	Condición 2		
7	16.3	16.5	-0.2	-1
12	18.2	17.9	0.3	2
8	18.4	18	0.4	3
6	15.9	15.4	0.5	4
2	19.4	20	-0.6	-5
4	17.1	16.4	0.7	6.5
5	15.3	16	-0.7	-6.5
1	17.6	16.8	0.8	8
9	17.3	16.4	0.9	9
10	19.1	20.1	-1	-10
11	17.8	16.7	1.1	11
3	19.5	18.2	1.3	12

Fuente: Mejía, 2015

Luego se suman *independientemente del signo* de los  $W^+$  y los  $W^-$  :

$$W^+ = 2 + 3 + 4 + 6.5 + 8 + 9 + 11 + 12 = 55.5$$

$$W^- = 1 + 5 + 6.5 + 10 = 22.5$$

Se halla el estadístico de prueba  $W = \min(55.5, 22.5) = 22.5$

Luego se halla el valor de la tabla  $W_{0.05}(12) = 13$

Dado que:  $W > W_{0.05}$  entonces se rechaza la hipótesis alternativa que existe diferencia significativa de las diferentes lecturas de desgaste de la pieza con respecto a las dos condiciones adversas de conducción; es decir, que las dos condiciones de conducción desgastan la pieza de manera estadísticamente similar.

### Prueba de Kruskal Wallis

Esta prueba se aplica cuando se tienen dos (2) o más tratamientos donde los individuos evaluadores u objeto de estudio son sometidos.

El modelo es similar al del diseño experimental completamente aleatorizado:

$$y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, n_i \end{cases}$$

Esta prueba se recomienda para un número mayor o igual a 5 individuos evaluadores y posee el siguiente estadístico de prueba:

$$H = \frac{12}{N * (N + 1)} * \sum_{i=1}^r \frac{R_i^2}{n_i} - 3 * (N + 1)$$

Si este valor es mayor o igual a  $\chi^2_{\alpha}(k - 1)$  se acepta la hipótesis alternativa que existe diferencia significativa entre los diferentes tratamientos bajo estudio.

### Ejercicio de prueba de Kruskal Wallis

Se están evaluando 3 tipos de galleta, las cuales serán calificadas de 0 (rechazo total) a 5 (aceptación total). Para tal prueba participaron 5 evaluadores cuyas calificaciones fueron las expresadas en la tabla 43).

**Tabla 43.** Registro de datos para prueba de Kruskal Wallis

<b>Evaluador</b>	<b>Galleta 1</b>	<b>Galleta 2</b>	<b>Galleta 3</b>
1	2.5	3.5	4.2
2	3.2	3.8	4.3
3	3.1	4.1	4.6
4	4	3.3	4.5
5	3.6	3.7	4.4

Fuente: Mejía, 2015

En siguiente paso se codifican los valores de menor a mayor como lo indica la tabla 44 y se realiza la sumatoria respectiva.

**Tabla 44.** Codificación de datos y sumatoria de rangos

<b>Evaluador</b>	<b>Galleta 1</b>		<b>Galleta 2</b>		<b>Galleta 3</b>	
1	2.5	1	3.5	5	4.2	11
2	3.2	3	3.8	8	4.3	12
3	3.1	2	4.1	10	4.6	15
4	4	9	3.3	4	4.5	14
5	3.6	6	3.7	7	4.4	13
<b>Total</b>		21		34		65

Fuente: Mejía, 2015

Luego se calcula el estadístico de prueba H así:

$$H = \frac{12}{15*(15+1)} * \left( \frac{21^2 + 34^2 + 65^2}{5} \right) - 3*(15+1)$$

$$H = 10.22$$

Se halla  $\chi^2_{\alpha}(k-1)$  en la tabla de Chi cuadrado y se obtiene el siguiente resultado:

$$\chi^2_{\alpha}(k-1) = \chi^2_{0.05}(3-1) = 5.99$$

Dado que el estadístico  $H=10.22$  es mayor que  $\chi^2=5.99$ , entonces se acepta la hipótesis alternativa que existe diferencia entre los tipos de galletas bajo evaluación.

#### **4.9 Caso de procesos de investigación experimental en poscosecha de flores de corte**

En el presente apartado del capítulo 4 se expondrá a modo de ejemplo la investigación realizada por Cifuentes y Mejía en poscosecha en Aster (2007) y posteriormente en Alstroemeria (2009), las cuales brindarán al lector un contexto de aplicación de investigación experimental en escenarios reales, en los que el diseño experimental ha sido herramienta fundamental para procesos específicos como ha sido en el caso de la agroindustria de flores.

El presente trabajo gravita en torno al análisis experimental de sustancias que propenden por la disminución de la tasa de respiración de flor cortada de *Alstroemeria aurantiaca*) como son el ácido cítrico, ácido acetilsalicílico y mezcla de glucosa con agua, como alternativas amigables con el medioambiente en fase de poscosecha, dado que otras investigaciones han sido orientadas hacia el efecto de la presencia de giberelinas (ácido giberélico,  $AG_3$ ), donde en condiciones de oscuridad el contenido de azúcares en las hojas decreció rápidamente (Jordi; Dekhuijzen, Stoopen y Overbeek, 1993). Además, el uso de biocidas con un enfoque de preservación de flor de corte de rosas, *Dianthus*, y otras variedades de *Alstroemeria* como la pelegrina, tal como lo resalta Knee (1999), denotando fenómenos de resistencia física del tallo, la absorción de la solución, generando mayores ganancias de peso, principalmente en rosas.

## Metodología

Para dicho estudio, los autores desarrollaron un diseño experimental completamente aleatorizado con submuestras, sumado a pruebas comparativas de Tukey bajo condiciones de control en laboratorio y cuyos tratamientos experimentales fueron ácido acético salicílico en concentración de 0.12 gramos/litro, ácido cítrico en concentración 0.912 gramos/litro, agua más hipoclorito de sodio al 5.25 % y un testigo o blanco a base de agua.

Además, se utilizaron cuatro unidades experimentales por tratamiento, con 10 repeticiones por unidad experimental, que constan de 12 tallos por repetición y de longitud de 70 cm, con base en los estándares establecidos por el mercado y constituidos por 2 a 3 flores con apertura floral máxima del 70 a 80 %.

Las pruebas experimentales fueron monitoreadas por un periodo de dos semanas, a las cuales se les evaluó la apertura floral total en porcentaje a la semana después de corte de la flor. No obstante, se debió aplicar transformación de datos llamado del tercer tipo (datos porcentuales), el cual es soportado en

el modelo Binomial y cuya fórmula de transformación es  $ArcSen\sqrt{\frac{100-x}{100}}$ , dado que los valores oscilan entre 80 y 100 %.

Seguidamente, se aplica el modelo del tipo:

$$y_i = \mu + Ti + ri(Ti) + Ti + \varepsilon_i$$

Donde:

$y_i$ : Variable respuesta atribuida al  $i$ -ésimo tratamiento  $s$ -ésimo factor temporal.

$T_i$ :  $i$ -ésimo tratamiento experimental.

$r_i$ :  $i$ -ésima repetición o réplica por tratamiento.

$\varepsilon_i$ : Error experimental atribuido al  $i$ -ésimo tratamiento  $s$ -ésimo factor temporal.

### Resultados y discusión

Al interior del estudio, se apreció que la apertura floral presentó una mejor respuesta con el tratamiento basado en ácido acetil salicílico en concentración 0.12 gramos/litro es aquel que denota mayor apertura floral (96 %), mientras que el ácido cítrico en concentración 0.912 gramos/litro es aquel con un menor porcentaje de apertura (70 %), siendo así el tratamiento que permite mayor durabilidad de la flor después del corte, lo cual se aprecia en la tabla 45.

**Tabla 45.** Estimación de medias, confiabilidad 95 % para variable estado

Error. Límite	
Nivel $n$	media estándar superior Inferior
Gran Media	40 87.5
Tratamiento	
1 10 96.0	9.62347 76.4827 100.000
2 10 70.0	9.62347 50.4827 89.5173
3 10 91.0	9.62347 71.4827 100.000
4 10 93.0	9.62347 73.4827 100.000

Fuente: Cifuentes y Mejía (2007)

La tabla 46 permite destacar que el porcentaje de apertura no fue significativo (valor  $p=0.2186$ ), indicando que los sustratos no influyen sobre dicha variable.

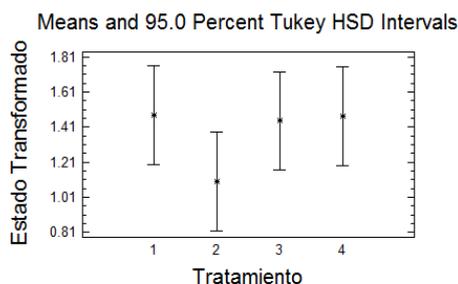
**Tabla 46.** Análisis de varianza para estado transformado

Fuente	SC	GL	CM	Fisher	p-valor
Tratamiento	1.00859	3	0.336196	1.55	0.2186
Residual	7.81379	36	0.21705		
Total	8.82238	39			

Fuente: Cifuentes y Mejía (2007)

Lo anterior es ratificado por la prueba comparativa de Tukey donde a pesar de que el tratamiento 2 basado en ácido cítrico, concentración de 0.912 gramos/litro es aquel con mayor respuesta, no es significativa al ser comparada con los demás tratamientos experimentales. El lector puede contrastar los datos en la figura 11 y tabla 47.

**Figura 11.** Prueba comparativa de Tukey para variable estado transformado



Fuente: Cifuentes y Mejía (2007)

**Tabla 47.** Pruebas de rangos múltiples para estado transformado por tratamiento

Tukey 95 % de confiabilidad	Trata	n	Promedio	desviación	homogeneidad
	2	10	1.09956	0.147326	X
	3	10	1.44589	0.147326	X
	4	10	1.47168	0.147326	X
	1	10	1.47807	0.147326	X

Fuente: Cifuentes y Mejía (2007)

De lo anterior, se aprecia que el ácido cítrico podría mantener una menor tasa de respiración y, por ende, promover su durabilidad en florero.





## **5. Aspectos de gestión de conocimiento requeridos para el tránsito entre la investigación experimental y la posterior gestión administrativa**

Según Mejía y Cifuentes (2009), históricamente, el ser humano se ha basado en el conocimiento para su supervivencia y posteriormente para su desarrollo hasta lo que hoy vivimos en el mundo. Dicho conocimiento se ha convertido en pieza fundamental para las organizaciones que apoyándose en este obtienen una gama amplia de ventajas competitivas y aprenden a adaptar las ventajas comparativas que les circundan, resaltándose que la construcción permanente del conocimiento implica innovación que impacta de manera radical la forma en que se producen, negocian, distribuyen y consumen diferentes bienes y servicios, generando cambios en el comportamiento del ser humano.

Además, es sabido por el sector empresarial que el entorno para las organizaciones (sean estas de cualquier estructura organizacional) se caracteriza por factores como el riesgo y la incertidumbre, donde la información bien utilizada se convierte en conocimiento, obligando a las empresas a aprovechar sus recursos intangibles (datos, información y conocimiento). De lo anterior se aprecian esos valores escondidos que no pueden ser ignorados y es esta la época de gestionarlos inteligentemente, lo cual ha sido primordial en la formación y cotidianidad de la Facultad de Ingenierías.

Por otro lado, el enfoque en Gestión del Conocimiento ha sido producto de la dinámica empresarial íntimamente correlacionada con la formación de ingenieros capaces de suplir la necesidad de innovar, aprender y por medio de procesos estratégicos de Investigación y Desarrollo (I+D) y que deben buscar alternativas asociadas a la inteligencia de agronegocios y agrocadenas desde aspectos referenciales como son la producción agrícola y pecuaria, la posproducción, el mercadeo, la logística, las finanzas, entre otros.

El presente enfoque implica el trabajo mancomunado con el sector empresarial con el fin de generar soluciones que redunden e impacten en la productividad y en última instancia en la competitividad de las empresas y sectores económicos.

Existe un adagio que reza: "Datos son datos, información es poder", para el caso de la presente enfoque, los datos son datos pero el conocimiento es poder; es decir, que apoyados en datos e información se construye permanentemente el conocimiento junto con empresarios e ingenieros agroindustriales y de áreas afines.

Aquí, el saber hacer (*know-how*) se convierte en un factor totalmente estratégico del proceso de producción, y una de las inversiones más rentables de toda la economía, lo cual no puede ser desconocido para ningún miembro que participe activamente en el grupo de investigadores.

## 5.1 Proceso de desarrollo

Cuando se aborda la gestión del conocimiento en la formación del ingeniero agroindustrial, se determina el papel fundamental de la investigación, brindando un matiz nuevo este profesional como diseñador, pero ello implica una serie de aspectos a resaltar que se mencionan a continuación.

## 5.2 Momentos metodológicos del proceso de gestión del conocimiento

Identificación del problema: Este momento implica un análisis profundo del ingeniero como ser social que donde detecta y evalúa con sentido crítico los problemas activos para una condición específica como el análisis problemático de una comunidad dada, el diseño de un prototipo, entre otros. Lo anterior se lleva a cabo por medio del análisis prospectivo de problemas<sup>2</sup> con el uso del programa *Mic Mac, software* soportado por la Universidad de las Naciones Unidas y que permite establecer la priorización de los mismos bajo un contexto de estudio detallado soportado por la comunidad participante.

Planteamiento del problema crítico y sistematización: en este caso se toma el problema crítico de mayor preponderancia en el análisis anterior y se convierte en el problema medular, del cual se formula las respectivas preguntas de investigación y sistematización del problema. Es aquí donde se da el *primer momento creativo* por parte de quien o quienes formulan bajo un sentido crítico – analítico del entorno que abordan.

2. El capítulo 7 posee su método de análisis y ejemplos de aplicación.

Formulación de objetivos de la investigación: siguiendo el encadenamiento del proceso investigativo y de gestión del conocimiento, se plantean tanto el objetivo general, así como los específicos, dan en última instancia respuesta a dicho objetivo, y por ende, a la posible solución esperada.

La Metodología y el Método: En este momento, el cual es mirado como *segundo momento creativo*, el investigador se debe formular varias preguntas:

¿Cuál es el enfoque de la investigación?

¿Qué voy a hacer para resolver cada objetivo?

¿Qué recursos tengo y requiero?

¿Cuáles son mis variables de respuesta y si estas validadas para lo que necesito saber?

¿Cómo medir y cómo evaluar, cuál es mi herramienta estadística más adecuada de ser necesaria?

Obtención de resultados de investigación: Es el análisis en fases de *análisis*, interpretación, argumentación y proposición por parte del investigador, el cual da respuesta al problema asumido y brinda nuevos espacios de exploración.

Aplicación: Es el uso de la investigación y propende por abrir espacios en aspectos como los *Spin off* en el ámbito de creación de empresas bajo el seno de la Universidad.

### 5.3 Estado actual y principales actividades desarrolladas

Debido a la concepción cíclica de la investigación en la que se encuentran los campos técnico, tecnológico y científico que debe integrar el ingeniero en su cotidianidad, estos se abordan de manera tal que sus fronteras se diluyen de manera flexible aunque metódica, permeando e impactando a la formación misma de los ingenieros, en el momento que exige una permanente reconstrucción de sus currículos, reestructuración de espacios de discusión y análisis, y fomentando un papel cada vez más concienzudo por parte del estudiante de Ingeniería.

Es de agregar que esto se logra de manera integrada, respetuosa de las diferentes formas de explorar el conocimiento, inter y transdisciplinar y promotor de una confrontación permanente de teoría y práctica entre sus actores. Por otra parte, también exige de todos los miembros de comunidades de ingenieros un permanente debate acerca de las tendencias del mundo, hasta llegar al nivel de

región para proyectar una investigación constructora permanente de espacios de productividad y en última instancia de competitividad.

## 5.4 Proceso de investigación y gestión del conocimiento

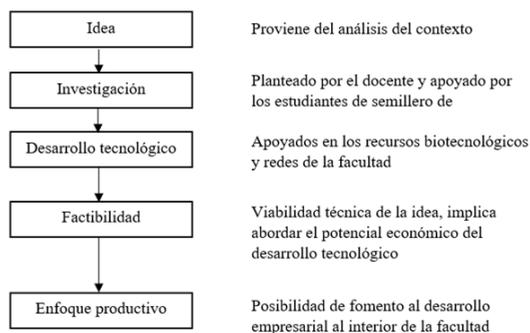
Para el caso de ingenierías es menester discriminar el proceso en estados fundamentales de la investigación los cuales son la invención, la innovación y su respectiva difusión.

Es de resaltar que la invención se entiende como aquella idea con un potencial de fomento de algún tipo de negocio, aunque no necesariamente esta sea de manera concreta; mientras que la innovación implica la búsqueda de un uso comercial de la idea, lo cual permite la creación de riqueza y la difusión es la divulgación de la innovación en la sociedad, pudiendo influir en los mercados, la productividad y en la competitividad.

En cuanto al proceso en la Facultad de Ingenierías de la Universidad La Gran Colombia seccional Armenia se ha concebido lo siguiente: teniendo en cuenta que la idea por sí sola no impacta y requiere de maduración por medio de la investigación en los momentos metodológicos del proceso epistemológico analizados y descritos previamente, se presenta, a continuación en la figura 12, el desarrollo tecnológico cuando se busca un uso actual o potencial a los resultados de la investigación, pasando posteriormente a la factibilidad y finalmente al potencial proyecto productivo negocio.

**Figura 12.** Proceso de Investigación

Con respecto a la gestión del conocimiento, se ha podido percibir al interior de la Facultad que la gestión del conocimiento posee las siguientes fases indicadas en las figura 13.



Fuente: Cifuentes y Mejía (2009)

Figura 13. Fases de gestión del conocimiento



Fuente: Cifuentes y Mejía (2009)

Lo anterior implica trascender la interpretación hasta llegar a la comprensión del porqué de las cosas que nos circundan; confrontar y confrontarnos hasta que la construcción permanente del conocimiento sobrepase el aula y permee en la cotidianidad de estudiantes, docentes y de la comunidad académica en general.

La esencia de la resolución de los problemas de ingeniería es el diseño, previa una planificación y análisis en sus primeras etapas. Las diversas situaciones que enfrenta a diario la humanidad permiten dar una amplitud al diseño de la ingeniería partiendo de su visión holística, los diseños de la ingeniería agroindustrial y afines pueden ser tan pequeños en tamaño y complejos como un nanoprocesador para un sistema de computación o tan grande en tamaño y complejos como un diseño biotecnológico. Al realizar un diseño de ingeniería se imagina, crea, visiona, planea, estructura un dispositivo, una estructura, un proceso o un sistemas que beneficie la comunidad.

Si se retoma a nuestros ancestros, el proceso de diseño era del dominio de los artesanos y el arte y el conocimiento se transmitía del maestro artesano al aprendiz, pero con el paso de las épocas, las situaciones problemáticas han incrementado exponencialmente en complejidad y variedad, encontrando en los avances de la tecnología, oportunidad para ampliar la capacidad de los ingenieros para brindar comodidad y bienestar a la sociedad. Los ingenieros están entrenados para pensar en términos analíticos y objetivos, para abordar los problemas en forma metódica y sistémica.



## 6. Gestión administrativa para la competitividad

### 6.1. Gerencia y gerencia estratégica

No hay acción empresarial sin sus actores principales: los gerentes. Son estos funcionarios, aquellos quienes toman decisiones que afectan el presente y en última instancia el futuro de las organizaciones y son parte de la cumbre estratégica de las mismas, donde los líderes empresariales sean estos gerentes, jefes de producción, entre otros, hagan un uso adecuado de la llamada estrategia; la cual, proviene del vocablo en griego *Strategos* que etimológicamente significa general o comandante.

Es por lo anterior que la estrategia es vista como un arte de dirección con características como son el sentido confrontacional, la orientación del y al combate y la comprensión del adversario (empezando por uno mismo), todo ello con un enfoque orientado al cumplimiento de la misión, entre otros aspectos.

Todo lo anterior, trasladado al mundo empresarial, se ajusta única y exclusivamente al negocio. Solo en él se resumen todas estas peculiaridades: conflicto (por las situaciones del mercado), competitividad, oponente, confrontación, intensidad, dialéctica de voluntades, etc.

Se puede entender que el gerente actual gira en torno a la estrategia y se debe a ella como parte de su capacidad y potencial de dirección. Es decir, que el gerente en la actualidad trabaja con base en la estrategia, orienta su organización y se apoya en el liderazgo proactivo en aras del desarrollo de su entorno, el de la empresa.

## 6.2.La organización, definiciones básicas: visión, misión, objetivos, estrategias

¿En qué se basa la estrategia?

Sin caer en el reduccionismo, la estrategia se basa en la organización adecuada, en el uso de recursos limitados o escasos, con base en una visión y misión claramente establecidas, además de una estrategia, objetivos específicos o propósitos claramente estructurados y establecidos.

**Visión:** se basa en la capacidad de ver lo que otros no pueden ver, es la proyección hacia donde se quiere llegar y más que un sueño (casi inalcanzable) se fundamenta en el desarrollo de la capacidad de percepción.

**Misión:** es también el objetivo general de las investigaciones o la directriz al formular matrices de marco lógico. Es algo que se debe lograr y hacia donde debe tender el gerente estratega. La misión debe satisfacer una necesidad del cliente y si lo hace, bien comenzará a generar utilidades.

**Objetivos:** son los pasos a seguir para alcanzar el objetivo general o misión. Deben ser cuantificables y delimitados en el tiempo. Además, es a partir de estos que se definen los materiales e insumos requeridos para el logro de la misión.

Estos objetivos son, a su vez, las estrategias a seguir y para poder integrar adecuadamente la visión, misión y objetivos se puede recurrir a la matriz de marco lógico, ejemplificada en la tabla 48, la cual maneja dos lógicas: horizontal y vertical y sigue el presente formato.

**Tabla 48.** Matriz de marco lógico

MATRIZ DE MARCO LÓGICO				
	Descripción	Indicadores objetivos	Medios de verificación	Supuestos
Directriz				
Propósitos				



Fuente: Mejía, 2015

Para construir el marco lógico de cualquier proyecto, sea una empresa, producto, solución a un problema o mejoramiento de un proceso, se realizan los siguientes pasos:

- a) Determinar la directriz del proyecto (objetivo general o misión).
- b) Definir los propósitos u objetivos específicos.
- c) Identificar los productos que se deben lograr para el alcance de los propósitos, es decir, aquellos eventos o resultados que deben ocurrir y que permiten el logro del propósito del proyecto.
- d) Determinar las actividades a seguir, que son las fases o tareas que se deben ejecutar para el logro de los productos.
- e) Establecer los insumos requeridos y necesarios para ejecutar las actividades para obtener los productos que permitirán el alcance de los propósitos y en última instancia, el logro de la directriz.
- f) Diligenciar la columna de indicadores objetivos de *abajo hacia arriba*, entendiéndose estos como la forma de medir cada una de las descripciones anteriores.
- g) Diligenciar la columna de medios de verificación de *abajo hacia arriba* y son estos los documentos que prueban la aplicación de los descriptores.
- h) Posteriormente, diligenciar la columna de supuestos de *abajo hacia arriba*; estos revisten una especial importancia dado que son los aspectos externos ideales, que si se dan, el proyecto que se está planteando se facilita ostensiblemente.
- i) Hacer las evaluaciones de lógica horizontal y vertical, en las que:

Lógica horizontal: establece la razón por la cual se va a ejecutar el proyecto, se evalúa con base en “si y entonces”.

Lógica vertical: evalúa la pertinencia y la integración de los indicadores y medios de verificación a los cuales se vinculan los supuestos. Aquí se contrasta la situación inicial (supuesto de insumos) con la *situación final* (indicadores objetivos de los *propósitos*)

Es de resaltar que todo lo que se plantee como proyecto debe cumplir con la suficiencia (que los recursos sean necesarios y suficientes), eficiencia (que el proyecto se esté ejecutando en los tiempos y con los recursos establecidos) y eficacia (que se alcance la directriz o misión).

## 6.3 Herramientas para el establecimiento de la estrategia competitiva

### Matriz de perfil competitivo

Esta herramienta identifica los competidores más importantes en un sector e informa sobre sus debilidades y fortalezas particulares.

Sus resultados dependen en gran medida de juicios subjetivos sobre la selección de factores, así como de la asignación de ponderaciones y determinación de clasificaciones; por lo anterior, es que al ser elaborada esta herramienta requiere cautela, para que no pierda su utilidad.

Pasos:

- a) Determinar los factores claves de éxito de la organización para la cual se evalúa la matriz.
- b) Establecer la ponderación o peso ponderado de cada factor, teniéndose en cuenta que la suma de las ponderaciones de los factores debe ser igual a 1 (100 %).
- c) Seleccionar las empresas a comparar contra la empresa de mi interés.
- d) Calificar todas las empresas de la siguiente manera: 1=Debilidad grave, 2=Debilidad menor, 3=Fortaleza menor y 4= Fortaleza importante.
- e) Multiplicar las calificaciones de cada organización con respecto al peso ponderado y posteriormente se suman. Los resultados son consignados en la tabla 49 para una posterior evaluación.



## Matriz de las cinco fuerzas competitivas

Una industria se define como un grupo de compañías que ofrecen sus productos o servicios que pueden ser sustitutos cercanos entre sí, dado que pueden satisfacer las mismas necesidades de los consumidores potenciales. En tal sentido, Porter (1991) planteó la matriz de las cinco fuerzas competitivas para determinar las oportunidades y amenazas a las cuales se enfrenta una organización de cualquier índole. Estas fuerzas son:

- a) Riesgo de entrada de competidores potenciales o barreras de entrada: son las barreras para poder entrar al negocio.
- b) Rivalidad entre firmas, la cual implica la competencia existente entre organizaciones al interior del mismo sector.
- c) Poder de negociación de proveedores: la capacidad de negociar de nuestros proveedores y su capacidad de vulnerar la estabilidad de la organización.
- d) Poder de negociación de compradores: sean estos clientes que consumen el producto directamente o sean clientes industriales.
- e) Amenaza de productos sustitutos: es la posibilidad de que mi producto sea dejado de consumir dado que puede ser reemplazado por otro que cumpla similares condiciones de satisfacción a un menor costo, generalmente (aunque no siempre).

Finalmente, ilustrada en la figura 14, se construye la matriz previa sustentación de cada componente al interior de cada fuerza competitiva.

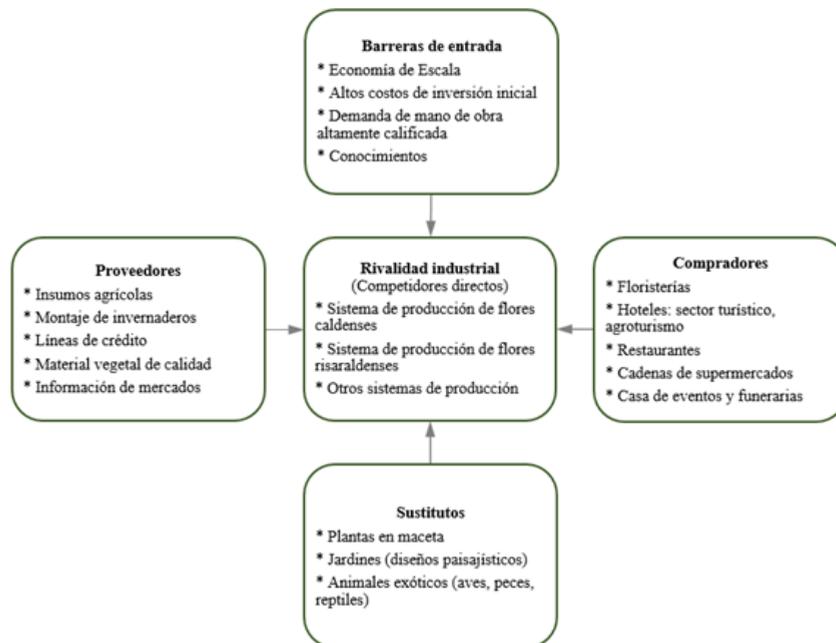
**Figura 14.** Matriz de las cinco fuerzas competitivas (Porter, 1991)



Fuente: Los autores

En la figura 15 se aprecia la matriz de las cinco fuerzas competitivas para la investigación en floricultura:

**Figura 15.** Matriz de las cinco fuerzas competitivas aplicadas a sector floricultor



Fuente: Mejía, Arias y Tobón (2003)

Los anteriores aspectos son de vital importancia para la organización “Bella Flora Ltda.” y para todas aquellas organizaciones que pretendieran entrar al negocio de las flores en el departamento del Quindío.

### **Matriz DOFA: Debilidades, Oportunidades, Fortalezas, Amenazas**

Es un tipo de análisis con múltiples aplicaciones y en diferentes áreas como línea de productos, mercado, producto, empresa, unidad estratégica de negocios y otras. Lo que surge a partir de dicho análisis permite una aplicación práctica en las diferentes áreas de negocios; no obstante, debe enfocarse solamente hacia los factores claves que conlleven al éxito del negocio, resaltando sus fortalezas y debilidades a nivel interno y las oportunidades y amenazas a nivel externo, lo cual evidencia una naturaleza dual de dicha DOFA.

Lo anterior significa que el análisis DOFA consta de dos partes: una interna y otra externa; la parte interna son aquellas sobre las cuales se tiene algún grado de control, mientras que las externas se asocian a las oportunidades del mercado y los riesgos que se pueden correr. Aquí, la cumbre estratégica de la

organización y los líderes, deben desarrollar su capacidad para aprovechar su potencial y minimizar las potenciales vicisitudes.

### **Fortalezas y Debilidades**

Al elaborar el análisis de fortalezas y debilidades se debe tener en consideración aspectos como el estudio de portafolio, de actividades, recursos, de riesgos (como se mencionó con antelación) realizando cuestionamientos como los enunciados a continuación:

- ¿Cuáles son los aspectos con los que se puede superar a la competencia?
- ¿Cuáles son aquellos aspectos en los cuales la competencia nos supera?

Visto de esta manera, las fortalezas se pueden clasificar del siguiente modo:

**Fortalezas organizacionales comunes:** muchas organizaciones poseen similar capacidad competitiva, lo cual las hace ver como pares.

**Fortalezas distintivas:** cuando una determinada fortaleza es casi exclusiva de un reducido número de organizaciones, brindándole ventajas competitivas sobre otras, siendo el conocimiento y el talento humano parte de dichas fortalezas.

**Fortalezas de imitación:** es la capacidad de una organización para imitar a otra u otras.

### **Oportunidades y Amenazas**

Las oportunidades organizacionales se encuentran en aquellos aspectos que bien podrían generar altos desempeños; mientras las amenazas se soportan en las dificultades que las organizaciones pueden encontrar para alcanzar un alto rendimiento. Dentro de los aspectos a considerar están el análisis del entorno, los grupos de interés, el contexto, donde se plantean cuestionamientos como mencionados a continuación:

- ¿Cuáles son las mayores amenazas que puede enfrentar una organización en un entorno dado?
- ¿Cuáles son las mayores oportunidades que posee la organización?

Con base en lo anterior, en la tabla 51 se construye una matriz para apreciar en mayor grado el efecto de lo analizado.

**Tabla 51.** Matriz DOFA (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Oportunidades)

<b>Debilidades internas (D)</b>	<b>Oportunidades externas (O)</b>
<b>Fortalezas internas (F)</b>	<b>Amenazas externas (A)</b>

Fuente: Mejía, 2015

Esta herramienta es de vital importancia dado que de allí se desprenden otras y análisis que aunque sencillos no pierden su carácter de profundos.

### **Matriz de evaluación de factores externos (matriz EFE)**

Esta matriz es similar a la matriz de perfil competitivo en su proceso de elaboración, sin embargo, se califica así:

Amenaza importante =1

Amenaza menor =2

Oportunidad menor =3

Oportunidad importante =4

### **Ejemplo de la investigación en floricultura**

Para la empresa Bella Flora Ltda las fortalezas más importantes son las abajo mencionadas:

- Conocimiento acerca de los productos que ofrece.
- Conocimiento acerca de la empresa (incluyendo finanzas).
- Estudio de mercados.
- Personal capacitado y responsable.

Mientras que las debilidades más importantes son las siguientes:

-Riesgo de mala planeación financiera.

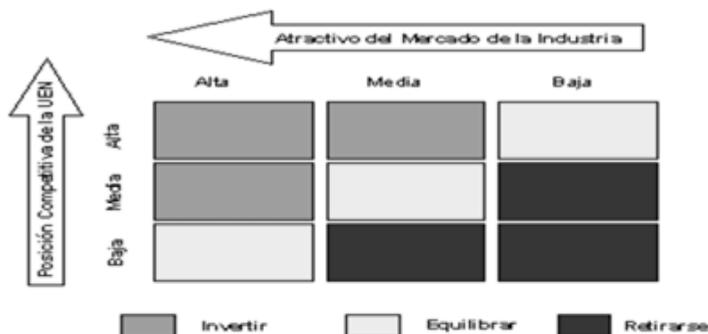
-Limitantes en investigación y desarrollo.

No obstante, dada la limitación en investigación y desarrollo fue establecida la línea de investigación en flores y follajes, con el fin de suplir tal carencia que redundará en última instancia en la posibilidad de crecimiento de la compañía. En general, la calificación obtenida por la empresa es de 3.06, estando por encima del promedio de 2.5 (promedio que indica si la organización posee fuerte posición interna), quedando por encima de su posición estratégica interna general, la cual la convierte en una organización atractiva para establecerse en la zona marginal alta cafetera del departamento del Quindío, dado que posee fortalezas que le permiten aminorar el riesgo de desaparecer del ámbito empresarial.

### Matriz interna-externa con base en las matrices EFE (Evaluación de factores externos) y EFI (Evaluación de factores internos)

Con base en los promedios ponderados obtenidos de las dos matrices anteriores se construye la matriz interna - externa donde sobre el eje X se ubica el promedio de la matriz de factor interno y sobre el eje Y, se ubica el promedio de la matriz de factor externo, obteniéndose una figura del siguiente tipo 3x3, llamada matriz interna - externa como lo resalta Sales (2000) y que se presenta a continuación en la figura 16. Se advierte sobre el sentido particular de los siguientes términos: invertir hace también alusión a “crezca y desarróllese”, equilibrar a “resista” y retirarse a “coseche o elimine”:

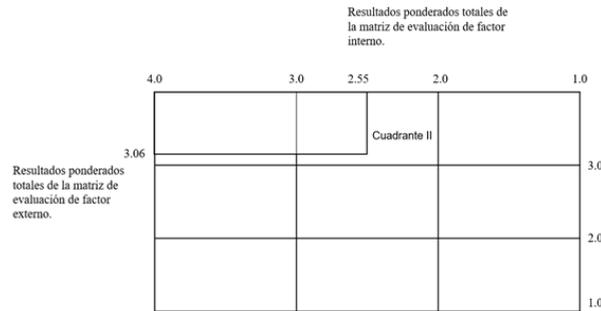
Figura 16. Matriz Interna-Externa



Fuente: Sales, 2000

Para la investigación en floricultura, con respecto a la empresa Bella Flora Ltda, su valor para la matriz de factores internos EFI es igual a 3.06 y la matriz de factores externos EFE es igual a 2.55, ubicándola en el cuadrante II de acuerdo con lo que nos indica la figura 17.

**Figura 17.** Matriz interna-externa aplicada a sector productor de flores



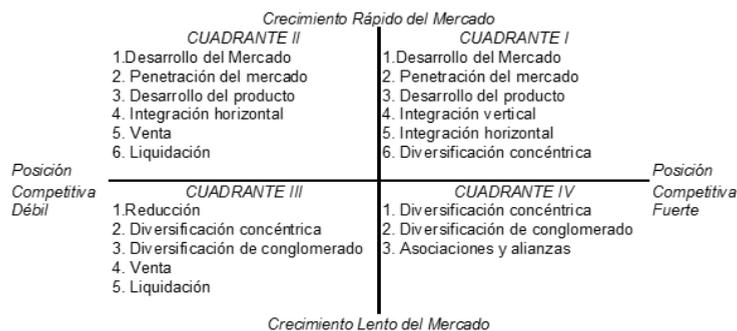
Fuente: Mejía, Arias y Tobón (2003)

Con base en lo anterior, se aprecia que la empresa está en la condición “crezca y desarrollése”, la cual debe aplicar estrategias intensivas como son la penetración y desarrollo del mercado, desarrollo del producto y estrategias integrativas tales como integración hacia atrás, hacia delante y horizontal, lo cual está acorde a la concepción inicial de la organización como proveedora de contexto, dado que debe integrar a proveedores, clientes y fundamentalmente a los floricultores, con una estructura claramente estructurada de investigación y desarrollo a través de la línea planteada.

### Formulación de la matriz de la gran estrategia

Esta matriz se basa en la ubicación de la empresa en uno de cuatro cuadrantes. Como se aprecia en la figura 18, existen dos dimensiones evaluativas: la posición competitiva y el crecimiento del mercado.

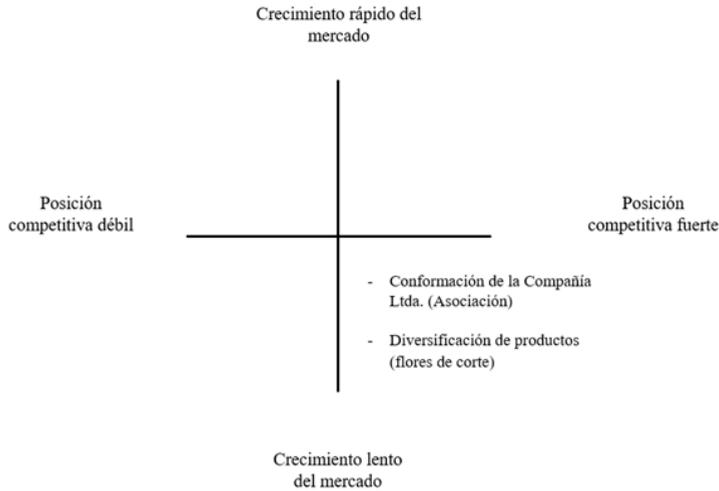
**Figura 18.** Matriz de la gran estrategia



Fuente: Mejía, Arias y Tobón (2003)

Para el caso de la investigación en flores se ubica en el cuadrante IV, la cual propende por diversificaciones concéntricas o de conglomerados, así como asociaciones y alianzas. En la figura 19 se especifican los aspectos indicados.

**Figura 19.** Formulación de la matriz de la gran estrategia, compañía Bella Flora



Fuente: Mejía, Arias y Tobón (2003)

**Elaboración de la matriz PEEA (posición estratégica y evaluación de acción) y cálculo vector *space*, análisis de las implicaciones de las estrategias**

Esta matriz es un marco de cuadrantes que denota si la organización requiere de estrategias agresivas, conservadoras, defensivas o competitivas, cuyos ejes son: Fortaleza Financiera (FF), Ventaja Competitiva (VC), Estabilidad Ambiental (EA) y Fortaleza de la Industria (FI). Ejemplos de factores que deberían incluirse en la presente matriz son indicados en la figura 20.

**Figura 20.** Matriz de posición estratégica

Posición estratégica interna	Posición estratégica externa
<b>Fortalezas Financieras (FF)</b>	<b>Estabilidad Ambiental (EA)</b>
•Tasa de retorno de la inversión	•Cambios tecnológicos
•Apalancamiento	•Tasa de inflación
•Liquidez	•Variabilidad de la demanda
•Capital de trabajo	•Rango de precios de productos
•Flujo de caja	•Barreras para entrar al mercado
•Facilidad de salida del mercado	•Presión competitiva
•Riesgo que implica el negocio	•Elasticidad del precio de la demanda

Ventaja competitiva (vc)	Fortaleza de la industria (fi)
•Participación en el mercado	•Potencial de crecimiento
•Calidad del producto	•Potencial de utilidades
•Ciclo de vida del producto	•Estabilidad financiera
•Lealtad del consumidor	•Conocimientos tecnológicos
•Utilización de la capacidad de la competencia	•Utilización de recursos
•Conocimientos tecnológicos	•Intensidad de capital
•Control sobre proveedores y distribuidores	•Facilidad de entrada al mercado
	•Productividad, utilización de capacidad

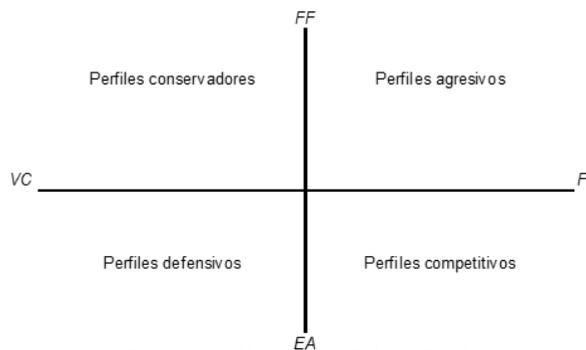
Fuente: Mejía, Arias y Tobón (2003)

Para la construcción de la tabla anterior se tuvo en cuenta los siguientes puntos:

- Se califican las fortalezas financieras y las fortalezas de la industria desde +1 (peor) a + 6 (mejor).
- Se califican la estabilidad ambiental y las ventajas competitivas desde -6 (peor) a -1 (mejor).
- Se halla el promedio para cada uno.
- Se realiza la siguiente operación:
 
$$x = FI + VC$$

$$y = FF + EA$$
- Se ubican los puntos de X e Y, respectivamente en el plano cartesiano y se presentan, tal como lo muestra la figura 21, los escenarios de perfil conservador, agresivo, defensivo y competitivo.

**Figura 21.** Escenarios posibles en análisis estratégico



Fuente: Mejía, Arias y Tobón (2003)

Para la empresa de flores bajo análisis, se definieron las siguientes posiciones con su respectivo valor numérico. En la tabla 52 se ilustra las diferentes relaciones establecidas con los resultados obtenidos.

**Tabla 52.** Estructura de la matriz PEEA

INTERNAS	EXTERNAS
<i>Fortaleza financiera (FF)</i>	<i>Estabilidad ambiental (EA)</i>
Apalancamiento (3)	Cambios Tecnológicos (-1)
Liquidez (1)	Barreras para entrar al mercado (-4)
Riesgo (3)	Presión Competitiva (-5)
Facilidad de salida del mercado (5)	Elasticidad del precio de la demanda (-3)
Promedio = 3,0	Promedio = -3,25
<i>Ventaja Competitiva (VC)</i>	<i>Fortaleza de la Industria (FI)</i>
Calidad del Producto (-2)	Estabilidad Financiera (3)
Lealtad del consumidor (-5)	Potencial de utilidades (5)
Ciclo de vida del producto (-3)	Utilización de Recursos (5)
Control sobre proveedores / distribuidores (-2)	Facilidad de Entrada al mercado (3)
Promedio = -3,0	Promedio = 4,0

Fuente: Mejía, Arias y Tobón (2003)

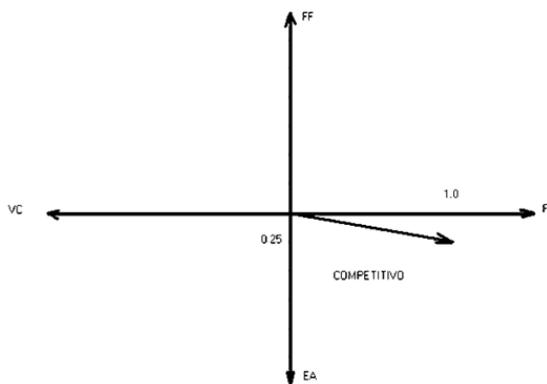
Enseguida se determinan los puntos sobre los cuales se define el vector:

$$x = FI + VC \rightarrow x = 4.0 + (-3.0) = 1.0$$

$$y = FF + EA \rightarrow y = 3.0 + (-3.25) = -0.25$$

De estas operaciones se obtiene un vector en perfil competitivo para la empresa productora de flores Bella Flora Ltda. La figura 22 nos muestra gráficamente esta situación.

**Figura 22.** Perfil competitivo para la empresa productora de flores Bella Flora Ltda



Fuente: Mejía, Arias y Tobón (2003)

La Compañía “Bella Flora Ltda” está definida al interior de un perfil competitivo, cuya ventaja principal se basa en la gestión del conocimiento, en un sector con gran crecimiento económico en las dos últimas décadas, con cobertura y potencial de comercialización nacional e internacional, fundamentada y con una estructura organizacional que integra a los diferentes actores que influyen directa e indirectamente sobre el desempeño de la misma, haciéndola más competitiva en una reñida industria del sector agrícola.



## 7. Prospectiva

### 7.1 Conceptos y caso aplicado a la agroindustria no alimentaria de flores

Cuando se habla de prospectiva es fundamental hablar del método de impactos cruzados, el cual es un método completo para el análisis futurístico de diferentes entornos posibles en el mediano y largo plazo y se considera de orden cualitativo, cuantitativo, temporal y probabilístico como lo resaltan Cifuentes y Mejía (2010). Su característica principal radica en la recolección de ideas de expertos o aquellos relacionados íntimamente con el escenario de análisis respectivo.

Este tipo de análisis se desarrolla en varias etapas como se explicará a continuación con base en el trabajo de prospectiva de la agroindustria de producción de flor de corte del departamento del Quindío bajo la metodología de Godet (Cifuentes y Mejía, 2008), los cuales se soportaron en dicho análisis estructural para brindar una reflexión colectiva, partiendo de esta descripción, este método tiene por objetivo, hacer aparecer las principales variables influyentes y dependientes y, por ello, las variables esenciales a la evolución del sistema. Dicha metodología de análisis estructural prospectivo de impactos cruzados es conocida como *Mic Mac*, la cual adquiere su divulgación entre 1972 y 1974 y se traduce como - *Matrice d'Impacts Croisés - Multiplication Appliquée a un Classement* - Matriz de Impacto Cruzado con Multiplicación Aplicada a una Clasificación de variables en un sistema cerrado (Godet, 1988; Duperrin y Godet, 1973).

Con base en el uso de la metodología *Mic Mac* y en aras de entender la dinámica de entornos que circundan a la floricultura quindiana surge la presente pregunta de investigación: ¿Cuál es la influencia de los diferentes entornos que afectan a la agroindustria de producción de flores en el departamento del Quindío?, cuestionamiento fundamental para la definición de planes a seguir para el desarrollo, productividad y en última instancia la competitividad de dicho renglón socioeconómico.

La metodología se fundamenta en el establecimiento de la matriz de impacto cruzado con multiplicación aplicada a una clasificación de variables en un sistema cerrado, conocido por sus siglas como *Mic Mac*. En primera instancia se determinaron aquellos aspectos asociados a los diferentes entornos:

### **Entorno económico**

El entorno económico está compuesto fundamentalmente de los siguientes aspectos que influyen en la agroindustria:

- Altos márgenes de rentabilidad.
- Inversión inicial alta.
- Mercado maduro de flores.
- Posibilidad de exportación.

### **Entorno demográfico y geográfico**

Con respecto al entorno demográfico y geográfico se definieron los siguientes aspectos de mayor relevancia para la agroindustria:

- Zonas agroecológicas óptimas: El departamento del Quindío posee zonas marginales (de difícil adaptabilidad para las plantas) para la explotación del cultivo del café y plátano, pero favorables para la producción de flores y follajes de corte, ubicadas en los municipios de Salento y Filandia.
- Buen estado de vías.
- Ubicación estratégica del Quindío.

### **Entorno gubernamental, político y jurídico**

Con respecto al entorno en mención, la empresa está influenciada principalmente por los siguientes aspectos:

- Posibilidad de crear alianzas para investigar con universidades de la

región.

- Apoyo con políticas de explotación.
- Incentivo a la capitalización rural.
- Estímulo al desarrollo empresarial.

### **Entorno sociocultural**

Los aspectos socioculturales que pueden influir en mayor grado en el establecimiento de la empresa agrícola en la zona marginal alta cafetera en el departamento son:

- Generación de empleo.
- Posibilidad de equidad de género.
- Falta de cultura floricultora.
- Nivel de escolaridad medio-bajo.

### **Entorno tecnológico**

Al analizar el entorno tecnológico que inciden directamente sobre la agroindustria, se determinaron cinco aspectos que influyen directamente sobre el desarrollo de la empresa productora de flores y follajes:

- Fundamentación en investigación y desarrollo (I+D).
- Información de vanguardia.
- Diseño de sistemas de información.
- Desarrollo de tecnologías de cultivos bajo cubierta.
- Desarrollo en biotecnología *in vitro*.

### **Entorno ecológico**

- Riesgo de contaminación ambiental.
- Biodiversidad.
- Corredor biológico en la región.

Por otro lado, se realizó la construcción de la matriz de impacto cruzado para las mismas variables en escalas de 0 (impacto nulo) a 5 (alto impacto), con base en la metodología de Godet (1988), para posteriormente establecer la priorización de problemas en críticos (alto impacto y alta dependencia entre ellos), activos (alto impacto pero baja dependencia entre ellos), reactivos (variables dependientes o respuesta a los problemas anteriores) e inertes (problemas de bajo impacto y baja dependencia), lo cual también se conoce como matriz de impacto. En la tabla 53 se ejemplifican las características de dicha herramienta.

---

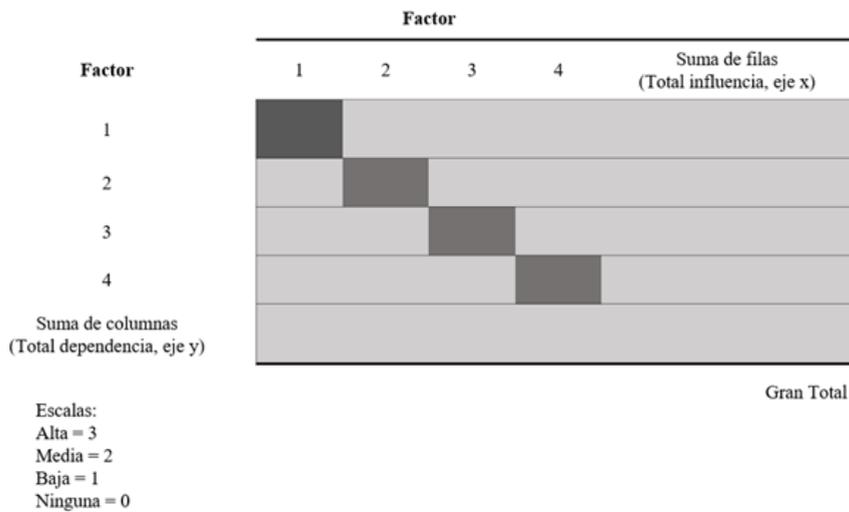
<b>Entorno Económico</b>	
A	Altos márgenes de rentabilidad.
B	Inversión inicial alta.
C	Mercado de flores maduro.
D	Posibilidad de Exportación.
<b>Entorno Demográfico y Geográfico</b>	
E	Zonas agroecológicas óptimas.
F	Buen estado de vías.
G	Ubicación estratégica del Quindío.
<b>Entorno Gubernamental, Político y Jurídico</b>	
H	Posibilidad de crear alianzas para investigar con universidad.
I	Apoyo con políticas de explotación.
J	Incentivo a la capitalización rural.
K	Estímulo al desarrollo empresarial.
<b>Entorno Sociocultural</b>	
L	Generación de Empleo.
M	Posibilidad de equidad de género.
N	Falta de cultura floricultora.
O	Nivel de escolaridad medio-bajo.
<b>Entorno Tecnológico</b>	
P	Fundamentación en I+D.
Q	Información de Vanguardia.
R	Diseño de Sistemas de Información.
S	Desarrollo de Tecnología de cultivos bajo cubierta.
T	Desarrollo en biotecnología <i>In Vitro</i> .
<b>Entorno Ecológico</b>	
U	Riesgo de contaminación ambiental.
V	Biodiversidad.
W	Corredor biológico en la región.

---

Fuente: Cifuentes y Mejía (2008)

**Tabla 53.** Características de Entorno/Variables

Después se construye la matriz de influencias directas llenando siempre en filas y de izquierda a derecha con base en la siguiente pregunta: ¿Cómo influye la variable A sobre la variable B? Aunque la tabla 54 ilustra claramente los componentes de este elemento, es importante recordar que estos datos se relacionan en escalas definidas como influencia alta (valor igual a 3), media (valor igual a 2), baja (valor igual a 1) y ninguna influencia (valor igual a 0). No obstante, es importante agregar que al analizar una variable contra sí misma el valor equivalente es igual a 0.



Fuente: Cifuentes y Mejía (2008)

**Tabla 54.** Matriz de influencias

Para el presente caso, la tabla 55 es la matriz cruzada.

Variable	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	Total Impacto
a	*	0	0	5	0	1	1	3	5	5	5	3	1	0	0	0	1	3	5	5	3	1	0	47
b	5	*	0	3	0	0	0	1	5	5	5	5	3	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	36
c	5	5	*	5	1	3	3	0	3	3	1	1	0	0	0	1	5	3	3	3	0	0	0	45
d	5	3	5	*	1	3	3	0	3	3	3	3	3	1	3	0	5	5	0	0	3	1	0	53
e	5	0	0	5	*	1	5	3	5	5	3	1	0	0	0	1	0	1	5	5	3	5	5	58
f	3	1	5	3	0	*	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	26
g	3	1	3	5	5	5	*	0	1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3	3	35
h	3	1	1	5	5	0	0	*	3	1	1	0	0	3	5	5	5	3	3	5	0	0	0	49
i	3	5	3	5	3	1	3	0	*	3	5	5	5	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	45
j	5	5	1	5	3	1	3	0	3	*	5	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39
k	5	3	1	5	3	1	0	0	3	5	*	5	5	3	3	3	1	3	3	3	1	0	0	56
l	5	3	0	5	0	0	0	0	5	5	5	*	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
m	1	0	0	5	0	0	0	0	5	5	5	5	*	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	30
n	5	1	5	5	0	0	0	3	1	3	5	3	1	*	0	0	0	0	1	1	0	0	0	34

<b>o</b>	0	0	0	3	3	0	0	5	3	3	5	3	3	5	*	1	0	0	3	1	5	3	0	46
<b>p</b>	5	3	0	5	5	0	0	5	3	5	5	1	0	3	1	*	5	5	5	5	3	3	3	70
<b>q</b>	5	3	0	5	3	0	3	5	3	1	3	0	0	1	0	3	*	5	1	1	0	0	0	42
<b>r</b>	5	3	1	3	1	1	0	0	3	1	1	0	0	0	3	3	5	*	1	1	0	0	0	32
<b>s</b>	5	5	1	5	5	1	5	0	3	3	1	1	0	1	3	1	1	1	*	1	3	3	0	49
<b>t</b>	5	5	1	3	3	0	5	5	3	3	1	3	3	0	3	5	3	1	3	*	1	5	3	64
<b>u</b>	0	1	0	5	5	0	0	0	3	1	0	0	0	5	5	3	1	0	5	5	*	5	5	49
<b>v</b>	3	1	0	3	5	0	5	0	1	0	0	0	0	0	0	3	5	5	0	0	5	*	5	41
<b>w</b>	0	0	0	3	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	5	3	3	5	5	*	34
<b>Total</b>	81	49	27	96	54	18	40	30	65	63	60	44	32	27	29	30	42	43	42	39	39	39	24	44
<b>Dependencia</b>	81	49	27	96	54	18	40	30	65	63	60	44	32	27	29	30	42	43	42	39	39	39	24	44

Fuente: Cifuentes y Mejía (2008)

**Tabla 55.** Matriz de influencia, dependencia para el estudio

La figura de matriz de impacto, en este caso la figura 28, muestra la ubicación de las variables en los diferentes cuadrantes, previa localización de ellas en un plano; los valores de dependencia se ubican en el eje X, mientras que los valores de impacto se ubican en el eje Y, consolidando así la matriz de impacto para el sector productor de flores con base en las variables mencionadas en la tabla 49.

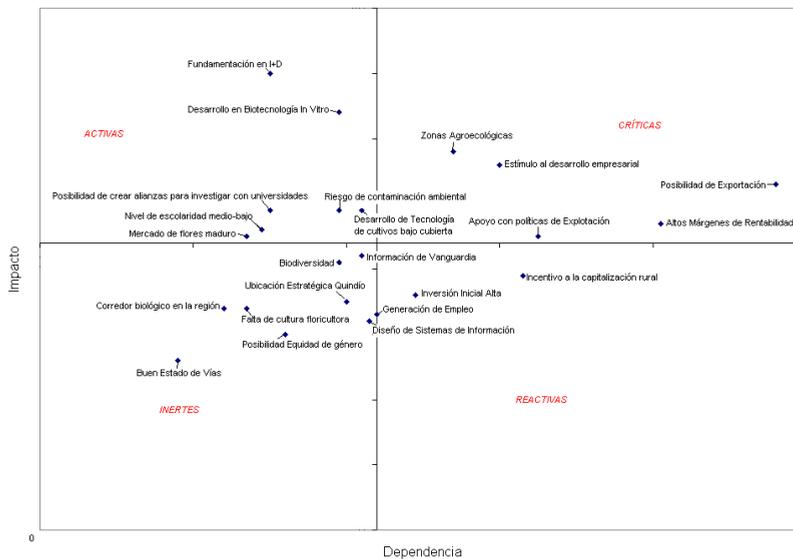
Para este caso, el eje X va de 0 a 96 (valor X más alto, variable d), mientras que el eje Y va de 0 a 70 (valor Y más alto, variable p).

La partición de los cuatro cuadrantes se hace de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Sumatoria Calificaciones}}{\text{NoVariables}} = \frac{1012}{23} = 44$$

Esto significa que tanto en eje X como en eje Y, la línea divisoria de cuadrantes se define en 44 para cada caso, obteniéndose la figura 23.

Gráfica de Matriz de Impacto



Fuente: Cifuentes y Mejía, 2008

**Figura 23.** Matriz de impacto para sector productor de flores

Los resultados obtenidos en la figura 28 están resumidos en la tabla 55.

<i>Tipo de Variable</i>	<i>Variable</i>
<i>Activas</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Fundamentación I+D</li> <li>*Desarrollo en biotecnología In Vitro</li> <li>*Posibilidad de crear alianzas para investigar con universidades</li> <li>*Nivel de escolaridad medio-bajo</li> <li>*Mercado de flores maduro</li> <li>*Riesgo de contaminación ambiental</li> <li>*Desarrollo de tecnología de cultivos bajo cubierta</li> </ul>
<i>Críticas</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Zonas agroecológicas</li> <li>*Estímulo al desarrollo empresarial</li> <li>*Posibilidad de exportación</li> <li>*Altos márgenes de rentabilidad</li> <li>*Apoyo con políticas de explotación</li> </ul>
<i>Reactivas</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Inversión inicial alta</li> <li>*Incentivo a la capitalización rural</li> <li>*Generación de empleo</li> </ul>
<i>Inertes</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Biodiversidad</li> <li>*Corredor biológico en la región</li> <li>*Ubicación estratégica del Quindío</li> <li>*Falta de cultura floricultora</li> <li>*Posibilidad de equidad de género</li> <li>*Buen estado de vías</li> <li>*Información de vanguardia</li> <li>*Diseño de sistemas de información</li> </ul>

Fuente: Cifuentes y Mejía, 2008

**Tabla 56.** Caracterización de variables según los cuadrantes

Las variables activas que requiere trabajar de manera periódica la agroindustria dada la baja dependencia pero alto impacto son la investigación de los mercados de flores, la creación de alianzas estratégicas con las universidades de la región. En cuanto al entorno tecnológico (que mayores efectos puede producir de acuerdo con el diagrama de influencia) se determinó que las variables fundamentación en I+D, biotecnología *In vitro* y desarrollo de tecnologías bajo cubierta son aquellas que la agrocadena debe reforzar.

Existen otras variables activas que no deben ser menospreciadas como son nivel de escolaridad medio-bajo y el riesgo de impacto ambiental, como variables que analizadas al nivel de entorno se enmascaraban, pero muestran

su influencia en el ámbito individual.

Con respecto a las variables críticas, es decir, aquellas de alta dependencia, alto impacto y que requieren un trabajo similar a las variables activas son la posibilidad de exportación, los altos márgenes de rentabilidad que podrían ser alcanzados, la ubicación de zonas agroecológicas óptimas para la producción de flores y follajes, y como variables exógenas influyentes el estímulo al desarrollo empresarial y el apoyo con políticas de explotación por parte del entorno gubernamental.

Es de agregar que al trabajar sobre las variables anteriores (activas y críticas) reaccionan las variables inversión inicial alta (disminución del riesgo de inversión), el incentivo a la capitalización rural por parte del entorno gubernamental y al nivel sociocultural se resalta la generación de empleo.

En cuanto a las variables inertes, aunque pueden influir en la empresa no afectan adversamente el pleno desarrollo de la misma y se pueden suplir a medida que la agroindustria va madurando. A partir del anterior análisis estas son la biodiversidad del Quindío, corredor biológico en la región, ubicación estratégica del departamento, falta de cultura floricultora, posibilidad de equidad de género, buen estado de las vías, información de vanguardia y diseño de sistemas de información.

## **7.2 Caso de aplicación de prospectiva orientado al análisis de agroindustrias alimentarias**

Impacto generado en los sectores cárnico, panificación y aromáticas a través del análisis de demanda tecnológica para el desarrollo del departamento del Quindío (Cifuentes y Mejía, 2012), donde se evaluó el impacto del programa de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad La Gran Colombia en el contexto social. Se aprecia que en los últimos dos años se ha llevado a cabo un proceso investigativo que surge de la necesidad del análisis y comprensión de la demanda tecnológica con base en procesos de investigación y desarrollo en los sectores de panificación, cárnicos y aromáticas, respectivamente al interior del departamento del Quindío, con el fin de establecer medidas orientadas hacia la mejora de la productividad.

El presente proceso de investigación gira en torno al diagnóstico en aspectos como servicios científicos y técnicos, enseñanza y formación científica y técnica, actividades científicas y tecnológicas, investigación y desarrollo experimental, innovación tecnológica, investigación aplicada, servicios de información técnica, científica y control de calidad.

Siendo la pregunta fundamental de investigación: ¿Cuáles son los factores que determinan la prospectiva de desarrollo competitivo para el sector cárnico, panificación y aromáticas en el departamento del Quindío?, cuyos objetivos han sido la evaluación del nivel de acceso a proyectos de investigación y desarrollo y el análisis de la capacidad de gestión de ese tipo de proyectos que den respuesta a aspectos económicos, sociales y ambientales en los sectores anteriormente mencionados.

El presente estudio revistió especial importancia cuando se aprecia que la investigación, desarrollo y su nuevo componente: la innovación, se convierten en partes fundamentales de la gestión del conocimiento alienable con la productividad y competitividad, más aún cuando en la actualidad se ha apreciado una nueva dinámica social con incertidumbres y retos para todos, apreciándose, como lo resalta Bueno (1999), dos tipos de sociedades soportadas en la información y el conocimiento, con nuevas dinámicas y nuevas formas de valorar el mundo a partir de la intangibilidad.

Por otro lado, Bell (1976) destacó que son planteamientos que propenden por la promoción de actividades económicas y el desarrollo de nuevos productos y servicios, con base en la generación de una *tecnología intelectual*, es decir, basada en juicios soportados en nuevas normas y algoritmos, lo cual es corroborado por Koyré (1973) quien afirma que existe una transición del estado de la ciencia clásica al de la ciencia moderna, basada en la incertidumbre, los sistemas dinámicos, inestables o discontinuos, donde la abstracción y la innovación es un componente fundamental, tal como lo resaltan Chan Kim y Mauborgne (2005) que con su concepto de la creación de océanos azules de nuevos mercados aprovechando la experiencia producto del saber hacer, donde el aprendizaje es un factor fundamental.

Complementario a lo anterior, Nonaka (1991) resalta que el mundo de hoy se mueve en una espiral de conocimientos que influye ostensiblemente sobre la economía, la sociedad y la cotidianidad, generando una posición que resalta la importancia de la innovación, la cual, para el caso de la empresa, se puede practicar siguiendo como guía las experiencias vividas al interior y exterior de la misma.

### **Materiales y métodos: enfoque y tipo de investigación**

Se trabajó bajo un enfoque empírico-analítico, con un método descriptivo y correlacional a través del uso de encuestas estructuradas aplicadas a empresas de los tres sectores mencionados con antelación.

### **Población objeto de estudio**

La población para la presente investigación fueron aquellas empresas dedicadas a la producción agrícola de plantas aromáticas, al procesamiento de cárnicos y panificación reportadas por la Cámara de Comercio de Armenia a junio de 2010, bajo un muestreo aleatorio estratificado por municipios para cada caso bajo una confiabilidad del 95 % y un error máximo permisible del 10 %, siendo una muestra de 22 encuestas en empresas de aromáticas, 64 empresas de expendio y almacenamiento de cárnicos y 77 panaderías.

### **Operacionalización de variables**

Las variables evaluadas al interior del estudio fueron aquellas asociadas la demanda tecnológica y son aquellas integradas a la información general del establecimiento, gestión de proyectos de investigación, recursos para realizar proyectos de investigación, personas que han trabajado en investigación, potencial de creación de alianzas, necesidades de capacitación, función de la universidad frente al sector, gestión del conocimiento y gestión de la tecnología, respectivamente.

### **Metodología estadística del estudio**

El análisis fue del tipo análisis de clúster, el cual gira en torno a la semejanza de los individuos al interior de grupos. Lo anterior se realiza a través de distancias euclidianas, obteniéndose clasificaciones jerárquicas ascendentes por medio de dendogramas, dichas clasificaciones tienen como objeto representar de manera sintética el resultado de las comparaciones entre individuos a través de sus variables al interior de tablas de doble entrada, lo anterior fue desarrollado con el programa *Spad Win 3.5*, el cual es especializado para análisis como los anteriormente descritos.

Sumado a lo anterior, se realizaron análisis prospectivos con base en el uso del programa *Mic Mac* y soportado en las variables significativas del análisis multivariado para determinar aspectos de priorización de problemas y aspectos correlativos entre los mismos con el fin de delinear políticas de I+D+i en lo local y regional.

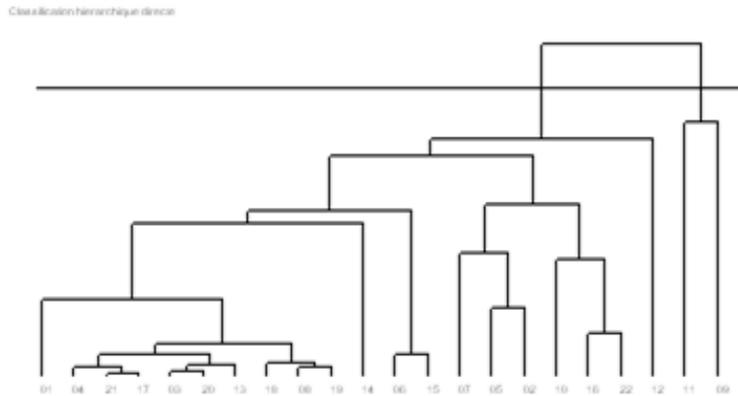
### **Resultados y discusión: empresas productoras de aromáticas**

Al realizar el estudio con base en análisis de correspondencias múltiples y de clústeres, se detectó para el caso de las empresas productoras de aromáticas que giran en torno al desarrollo integral mediante el asocio con instituciones como es el Programa de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad La Gran

Colombia seccional Armenia, así como el avance conjunto en investigaciones enfocadas desde la producción hasta la transformación, del mismo modo el análisis pertinente en mercado y la capacitación de la fuerza laboral para el aumento de la eficiencia en cada uno de estos frentes del clúster.

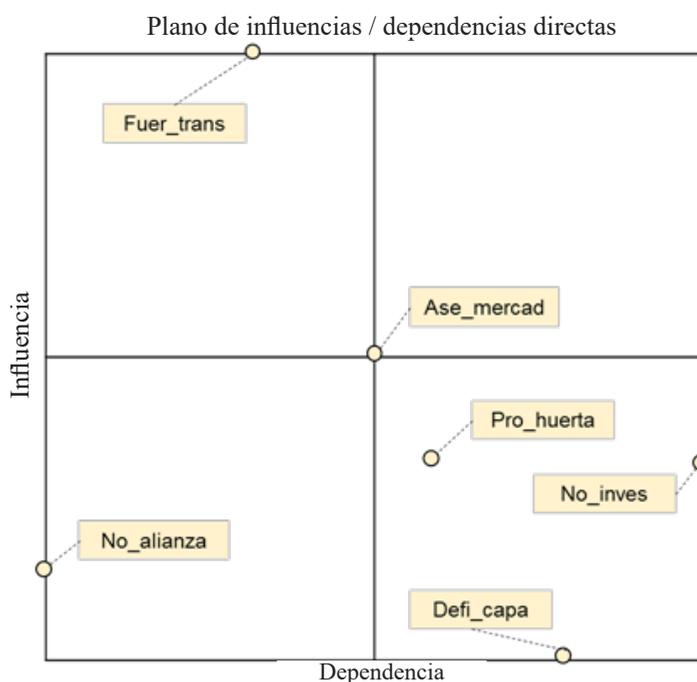
**Figura 24.** Análisis de clústeres sector aromáticas

En la figura 24 se aprecian dos clústeres principales; el primer clúster denota que el 90,91 % de los encuestados generalizaron que no han tenido vínculos sobre investigaciones con institutos tecnológicos de la región, de igual proporción, los proyectos en administración del recurso humano son menos apetecidos y tienden a ser menos relevantes, haciéndose importante la investigación en otros sectores del renglón económico. El segundo clúster equivale al 9,09 % de los encuestados, los cuales realizaron investigaciones y alianzas con institutos tecnológicos, y con el mismo porcentaje, los actores que tienen como predilección realizar investigaciones en la parte de administración del recurso humano, lo cual corroboró lo planteado por Bell (1976) y Koyré (1973).



Fuente: Cifuentes y Mejía, 2010

Por otro lado, cuando se realizó el análisis prospectivo para el sector de aromáticas determinó que el aseguramiento del mercado se convierte en el factor crítico y la directriz para la mejora y mayor consolidación del sector, siendo además el problema activo la transformación, en la cual la búsqueda de solución de ambos da como reflejo una consolidación de investigación con mayor pertinencia, consolidación de la producción en huertas y mayor capacitación en transformación, poscosecha y calidad.



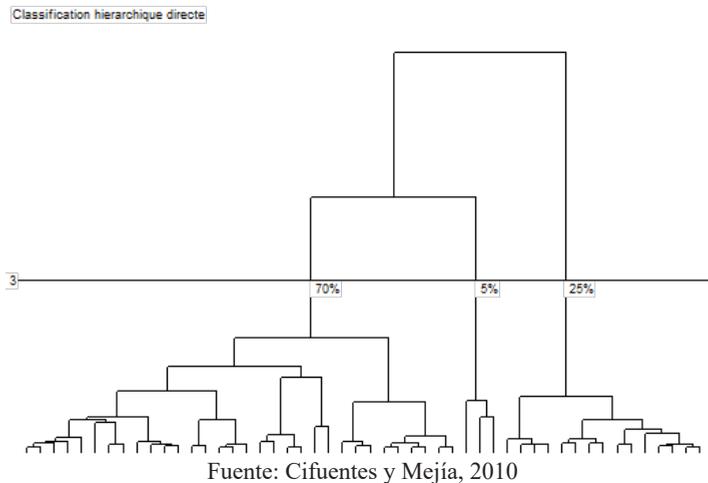
Fuente: Cifuentes y Mejía, 2010

**Figura 25.** Análisis de problemas sector aromáticas

En la figura 25 se aprecia que la capacidad de transformación (*Fuer trans*) puede influir fuertemente sobre el aseguramiento del mercado (*ase\_mercad*, figura 30), de lo anterior se aprecia la importancia de realizar proyectos de investigación con universidades asociadas al sector de manera directa para promover mercados y fortalecimiento de la cadena productiva como tal y consolidar un conocimiento, corroborando lo afirmado por Nonaka (1991).

### **Análisis empresas de sector cárnico**

Para el caso del presente sector, se observó que los expendios y almacenamientos de cárnicos presentan una alta demanda en gestión del conocimiento y proponer cursos basados en gestión de la tecnología, innovación, calidad, gestión empresarial, talento humano, donde la Universidad por medio del programa brinda acercamientos de este tipo por medio de la oferta de programas de extensión y proyección social, salvo el municipio de La Tebaida el cual se fundamenta en diplomado en ámbito no definido. La figura 26 presenta el análisis del sector.



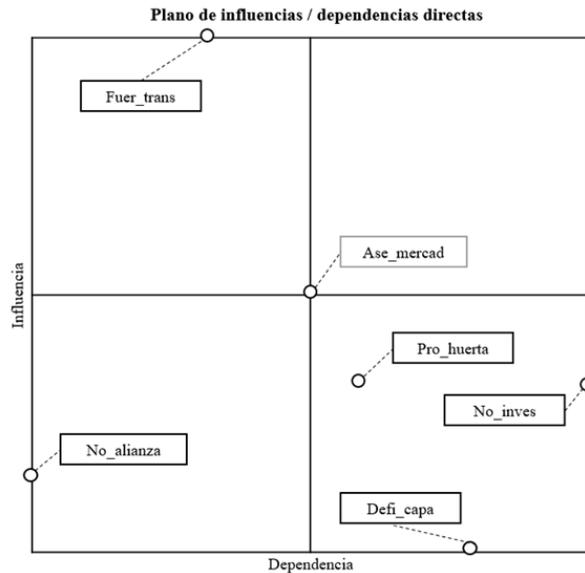
**Figura 26.** Análisis de clúster, sector cárnico.

Se observó que el 70 % de los establecimientos de expendios y almacenamientos de cárnicos tienen necesidad de capacitación, el 5 % diplomado en las áreas de gestión de la tecnología, gestión del conocimiento, gestión de la innovación, gestión de la calidad, gestión empresarial, incorporación del saber hacer (*know how*), diseño organizacional, gestión del talento humano; y el 25 % no está interesado, consolidándose así tres clústeres.

Se aprecia en los análisis prospectivos para dicho sector que tres problemas determinan su prospectiva posterior al análisis multivariado. La figura 27 se refiere a los problemas del sector cárnico, actividad utilizada como ejemplo de la capacidad de análisis de la técnica estudiada.

- No existe alianza entre la Universidad y otros centros educativos y los establecimientos de expendio y almacenamiento de cárnicos (No alianza).
- No hay cumplimiento de la normatividad vigente (No norma).
- No existe un estado sanitario satisfactorio (No estado).

Determinándose que el no cumplimiento de las normas vigentes es el factor crítico y la falta de alianzas se podría comportar como variable activa, lo cual se refleja en el estado sanitario insatisfactorio, posiblemente por razones de trabajo integral mancomunado de diferentes instituciones para lograr altos estándares de calidad y explorar así potenciales mercados.



**Figura 27.** Análisis de problemas sector cárnico

### **Análisis empresas sector panificación**

Con respecto al sector panificación se observó que se conforman claramente tres clústeres como se puede visualizar en la figura 28, en los que el 38.96 % de los encuestados generalizaron que no pretenden desarrollar proyectos en investigación y desarrollo a base de microbiología industrial, diseño de plantas, investigación de operaciones, biotecnología, medioambiente o diseño de equipos. Estos son poco apetecidos y tienden a ser menos notables, debido al escaso conocimiento que presentan los actores y a la mentalidad de la amplia disponibilidad de recursos económicos necesarios para su ejecución. Por el contrario, con una disposición del 44.16 % de la población encuestada se pretenden realizar proyectos en investigación y desarrollo de microbiología industrial, medioambiente, diseño de plantas, biotecnología, administración y gestión del talento humano, automatización, optimización de productos y procesos, investigación de mercados, salud ocupacional, cadenas productivas y control de calidad debido a la gran necesidad de mejorar el servicio y productos ofrecidos al consumidor tendientes a aumentar el nivel competitivo y generar un incremento en la economía de sus empresas, sin embargo, un 16.88 % no están dispuestos a desarrollar algún proyecto de investigación, su actividad económica la ven netamente comercial y no ven la necesidad de incorporar aumentos en la fabricación o mejorar sus procesos productivos.



Fuente: Cifuentes y Mejía, 2010

**Figura 28.** Análisis de clústeres, sector panificación.

Los problemas derivados del análisis estadístico fueron la falta de proyectos de investigación y desarrollo en las empresas panificadoras (proyectos), no hay alianzas entre institutos tecnológicos y universidades para el sector panificador (alianza), escasa capacitación por parte del sector para optimizar los procesos (capacitar) y no hay gestión del conocimiento a través de las entidades asociadas al sector panificador (conocer), donde la gestión del conocimiento es fundamental para el sector, lo cual se logra por medio de capacitar a actores de la cadena y el desarrollo de proyectos de investigación.

En el presente estudio, se concluyó que la gestión del conocimiento es un factor determinante en el desarrollo de los tres sectores estudiados, en los que ha sido preponderante el papel asumido por las universidades. Por otro lado, la productividad es alcanzable en la medida que se creen alianzas, redes y convenios con los programas académicos que propenden por el desarrollo agroindustrial, con base en dinámicas de proyección social claramente estructurada y establecida pensada en la relación Universidad-empresa y Estado como parte fundamental. Dentro de las recomendaciones planteadas para el presente estudio están la evaluación de la posibilidad de consolidar espacios de construcción de conocimiento tácito y explícito en las cadenas bajo estudio; así como el establecer un programa de innovación abierta con el fin de integrar a los sectores estudiados con la Universidad como apoyo estructural.



## Referencias bibliográficas

- Bell, D.** (1976) *El advenimiento de la sociedad posindustrial*. Madrid: Alianza Universidad
- Box, G;** Hunter, W. y Hunter, S (1988). *Estadística para investigadores, introducción al diseño de experimentos, análisis de datos y construcción de modelos*. Barcelona: Reverté S. A.
- Brown** (2008). Design Thinking. Harvard Business Review. En [http://www.ideo.com/images/uploads/thoughts/IDEO\\_HBR\\_Design\\_Thinking.pdf](http://www.ideo.com/images/uploads/thoughts/IDEO_HBR_Design_Thinking.pdf)
- Bueno, E.** (1999). *La gestión del conocimiento, nuevos perfiles profesionales*. En <http://www.sedic.es/>
- Camacho, J** (1998). Incubadoras o viveros de empresas de base tecnológica: Lareciente experiencia europea como referencia para las actuales y futuras iniciativas latinoamericanas. *XII Congreso latinoamericano sobre espíritu empresarial*, Costa Rica, noviembre 9 al 11 de 1998.
- Chan Kim, W.** Mauborgne, R. (2005). *La estrategia del océano azul*. Barcelona: Norma.
- Cifuentes, X;** Mejía, L. (2007). Evaluación de antioxidantes como alternativas de durabilidad después del corte de aster montecasino. *Revista Sophia*, 3, 112 - 118.
- Cifuentes, X;** Mejía, L. (2009). Evaluación del potencial de durabilidad de flor cortada de *Alstroemeria* con base en el uso de antioxidantes. *Revista Sophia*, 5, 163 - 168.

- Cifuentes, X; Mejía, L** (2010). La investigación en ingeniería agroindustrial como soporte para la consolidación de las cadenas productivas de cárnicos, panificación y aromáticas a través del análisis de demanda tecnológica para el desarrollo del Departamento del Quindío. En *VIII Congreso Internacional Educación Superior: La Universidad por el Desarrollo Sostenible*, La Habana-Cuba.
- Duperrin, J; Godet, M.** (1973). Méthode de hiérarchisation des éléments d'un système: essai de prospective du système de l'énergie nucléaire dans son contexte sociéta. *C.E.N Saclay B.P. 2*, 91 -190.
- Godet, M.** (1988). Prospectiva y Planificación Estratégica. Ed. Prospektiker Instituto Europeo de Prospectiva y Estrategia— Parque Empresarial de Zuatzu- Donostia-San Sebastián. En <http://www.prospektiker.es/prospectiva/caja-herramientas-2007.pdf>
- Govindarajan, V. y Trimble, C.** (2012). *Reverse Innovation, Create Far from Home, Win Everywhere*. Harvard: Harvard University Press.
- Jordi, W; Dekhuijzen, H; Stoopen, G and Overbeek, J** (1993). Role of other plant organs in gibberellic acid-induced delay of leaf senescence in alstroemeria cut flowers. *Physiologia plantarum*, 87 (3), 426-432.
- Ke Zhang, Yi Chai, Simon X. Yang, Daolei Weng** (2011). Pre-warning analysis and application in Traceability Systems for food production supply chains. *Expert Systems with Applications*, 38, (3), 2500-2507
- Koyré, A.** 1973. *Estudios de historia del pensamiento científico*. México: Siglo XXI.
- Little, T; Hills, J** (1989). *Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura*. México: Trillas
- Mejía, L; Arias, E; Tobón, J.** (2003). Establecimiento de un Sistema de Comercialización de Flores de Corte para la Zona Marginal Alta Cafetera del Departamento del Quindío,[Tesis de posgrado] Universidad Santo Tomás.
- Mejía, L; Cifuentes, W** (2009). Análisis del enfoque epistemológico y la gestión del conocimiento en la formación de los ingenieros de la Universidad La Gran Colombia, una mirada al ingeniero como diseñador. En Reunión Nacional de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería – ACOFI.
- Montgomery, D.** (2003). *Diseño y Análisis de Experimentos*. (2ed). México: Limusa

- Montgomery, D; Runger, G. (1996).** *Probabilidad y estadística aplicadas a la investigación.* México: Mc Graw- Hill.
- Nelson, R (1993).** *National Innovation Systems: A comparative analysis.* Oxford: Oxford University Press.
- Nonaka, I. (1991).** The knowledge-Creating Company. *Harvard Business Review.* November-December, 96-104.
- Porter, M. (1991).** La ventaja competitiva de las naciones.España: Plaza & Janes Editores SA
- Regattieri, A; Gamberi, M; Manzini, R(2007).** Traceability of food products: General framework and Experimental evidence. *Journal of Food Engineering,* 81, (2), 347-356
- Restrepo, F. (2007).** Diagramas de Estructura en el Análisis de Varianza. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias,* 20, (2), 202-208.
- Tamayo, S; Monteiro, T; Sauer, N (2009).** Deliveries optimization by exploiting production Traceability Information. *Engineering Applications of Artificial Intelligence,* 22, (4-5), 557-568
- Ries, E.(2011).** *The Lean Start Up, How Today's Entrepreneurs Use Continuous Innovation to Create Radically Successful Businesses.* EE.UU.: Crown Business.
- Rovira, N. (2004).** TRIZ: Innovación estructurada para la solución de problemas y el desarrollo de productos, creatividad como una Ciencia Exacta. En [http://www.laccei.org/LACCEI2005-Cartagena/Presentations/Tutorial\\_LeonRovira.pdf](http://www.laccei.org/LACCEI2005-Cartagena/Presentations/Tutorial_LeonRovira.pdf)
- Sales, M. (2000).** Gerencia de mercadeo, ciencias económicas y Administrativas En [www.3w3search.com/Edu/Merc/Es/GMerc.htm](http://www.3w3search.com/Edu/Merc/Es/GMerc.htm)
- Waissbluth, M. Cadena, G; Solleiro, L. (1988).** Linking university and Industry: An Organizational Experience in Mexico. *Research Policy.* 17 (6), 341.



# Apéndices

## 1. Bases para la transformación de datos

Las transformaciones más aplicadas son:

### 1.1 Transformación raíz cuadrada:

Se aplica para datos de conteo (variables de índole discreto), los cuales provienen de un modelo de Poisson, cuya función es:

$$f(x) = \frac{\mu^x * e^{-\mu}}{x!} \text{ Donde } x=0,1,2,\dots, n=0 \text{ e.o.c}$$

Cuando el valor de los datos es mayor o igual a 15, aplica:  $\sqrt{x}$

Cuando el valor de los datos es menor o igual a 10, aplica:  $\sqrt{x+0,5}$

Cuando el valor de los datos oscila entre 11 y 14, aplica:  $\sqrt{x+1}$

El número de cifras significativas depende del coeficiente de variación,

Si  $0,4\% \leq CV \leq 4\%$ , Utiliza 4 decimales

Si  $4 < CV \leq 40\%$ , Utiliza 3 decimales

Si  $CV > 40\%$ , Utiliza 2 decimales

Ante la presencia de datos de conteo no se prueban los supuestos y los datos se transforman directamente.

## 1.2 Transformación logarítmica:

Se aplica a datos de índole continua, muy recomendada cuando hay heterogeneidad de varianzas. No obstante:

- No es aplicable a datos negativos
- Si hay valores iguales a 1 o inferiores al mismo, deben ser codificados para no obtener valores negativos, multiplicando por 10, 100, 1000 o más todos los valores, hasta que el valor más bajo se aleje de 1.

Si hay valores iguales a 0, todos los resultados deben ser sumados con una unidad antes de codificar, ya que  $\text{Log}0 = -\alpha$

## 1.3 Transformación de tercer tipo:

Esta transformación se aplica cuando los datos están expresados en términos porcentuales o de proporción, la transformación a aplicar es:

$$\text{ArcSen}\sqrt{\frac{x}{100}} \text{ cuando los valores oscilan entre 0 y 30 \%}$$

Estos datos provienen de un modelo binomial, cuya función es la siguiente:

$$f(x) = \binom{n}{x} P^x (1-P)^{n-x}$$

Esta transformación no funciona para datos negativos.

Antes de calcular la raíz cuadrada, se debe dividir por 100

$$\text{ArcSen}\sqrt{\frac{100-x}{100}} \text{ cuando los valores oscilan entre 80 y 100 \%}$$

Cuando los datos oscilan entre 30 y 80 %, no es necesario transformar los datos.

## 2 Distribución normal estándar

Proporción acumulada (cola izquierda) P de una puntuación Z normal

z	← P	-2.58	0.004594	-2.14	0.016189	-1.70	0.044537	-1.26	0.103883	-0.82	0.209111	-0.38	0.351977	0.06	0.523922	0.50	0.691446	0.94	0.825359	1.38	0.916211	1.82	0.965662	2.26	0.989509	2.70	0.996533
-3.00	0.00135	-2.57	0.0050528	-2.13	0.014859	-1.69	0.045951	-1.25	0.105065	-0.81	0.20987	-0.37	0.353069	0.07	0.525790	0.51	0.693174	0.95	0.826954	1.39	0.917774	1.83	0.966328	2.27	0.990400	2.71	0.996864
-2.99	0.00139	-2.56	0.0056203	-2.12	0.015730	-1.68	0.046648	-1.24	0.107448	-0.80	0.211066	-0.36	0.356842	0.08	0.531180	0.52	0.696847	0.96	0.831147	1.40	0.919234	1.84	0.967132	2.28	0.990870	2.72	0.996974
-2.98	0.00144	-2.55	0.0062039	-2.11	0.016733	-1.67	0.047446	-1.23	0.109935	-0.79	0.212476	-0.35	0.360317	0.09	0.536665	0.53	0.699544	0.97	0.833390	1.41	0.920733	1.85	0.967834	2.29	0.991489	2.73	0.997083
-2.97	0.00149	-2.54	0.0068054	-2.10	0.017866	-1.66	0.048466	-1.22	0.113123	-0.78	0.213979	-0.34	0.363893	0.10	0.542338	0.54	0.702244	0.98	0.835666	1.42	0.922320	1.86	0.968556	2.30	0.992109	2.74	0.997193
-2.96	0.00154	-2.53	0.0074350	-2.09	0.019131	-1.65	0.049647	-1.21	0.116484	-0.77	0.215565	-0.33	0.367584	0.11	0.548164	0.55	0.704984	0.99	0.837991	1.43	0.923894	1.87	0.969284	2.31	0.992646	2.75	0.997302
-2.95	0.00159	-2.52	0.0080927	-2.08	0.020516	-1.64	0.050950	-1.20	0.119923	-0.76	0.217233	-0.32	0.371388	0.12	0.554054	0.56	0.707744	1.00	0.840334	1.44	0.925444	1.88	0.969999	2.32	0.993093	2.76	0.997411
-2.94	0.00164	-2.51	0.0087764	-2.07	0.021933	-1.63	0.052365	-1.19	0.123432	-0.75	0.218983	-0.31	0.375302	0.13	0.560004	0.57	0.710524	1.01	0.843434	1.45	0.927074	1.89	0.970697	2.33	0.993540	2.77	0.997520
-2.93	0.00169	-2.50	0.0094821	-2.06	0.023384	-1.62	0.053893	-1.18	0.127090	-0.74	0.220819	-0.30	0.379336	0.14	0.566014	0.58	0.713334	1.02	0.846464	1.46	0.928720	1.90	0.971384	2.34	0.993986	2.78	0.997628
-2.92	0.00175	-2.49	0.0102118	-2.05	0.024868	-1.61	0.055539	-1.17	0.130807	-0.73	0.222740	-0.29	0.383384	0.15	0.572084	0.59	0.716164	1.03	0.849524	1.47	0.930394	1.91	0.972182	2.35	0.994433	2.79	0.997736
-2.91	0.00181	-2.48	0.0109657	-2.04	0.026386	-1.60	0.057294	-1.16	0.134674	-0.72	0.224746	-0.28	0.387456	0.16	0.578094	0.60	0.719014	1.04	0.852604	1.48	0.932004	1.92	0.973020	2.36	0.994880	2.80	0.997844
-2.90	0.00187	-2.47	0.0117467	-2.03	0.027949	-1.59	0.059169	-1.15	0.138601	-0.71	0.226827	-0.27	0.391544	0.17	0.584164	0.61	0.721884	1.05	0.855704	1.49	0.933634	1.93	0.973894	2.37	0.995327	2.81	0.997952
-2.89	0.00193	-2.46	0.0125565	-2.02	0.029556	-1.58	0.061094	-1.14	0.142694	-0.70	0.228984	-0.26	0.395656	0.18	0.590394	0.62	0.724774	1.06	0.858824	1.50	0.935184	1.94	0.974764	2.38	0.995774	2.82	0.998060
-2.88	0.00199	-2.45	0.0133974	-2.01	0.031211	-1.57	0.063194	-1.13	0.146954	-0.69	0.231219	-0.25	0.399794	0.19	0.596694	0.63	0.727684	1.07	0.861964	1.51	0.936754	1.95	0.975654	2.39	0.996220	2.83	0.998167
-2.87	0.00205	-2.44	0.0142694	-2.00	0.032926	-1.56	0.065369	-1.12	0.151284	-0.68	0.233526	-0.24	0.403954	0.20	0.603094	0.64	0.730614	1.08	0.865124	1.52	0.938354	1.96	0.976554	2.40	0.996674	2.84	0.998274
-2.86	0.00212	-2.43	0.0151730	-1.99	0.034681	-1.55	0.067691	-1.11	0.155684	-0.67	0.235904	-0.23	0.408164	0.21	0.609504	0.65	0.733564	1.09	0.868294	1.53	0.939954	1.97	0.977464	2.41	0.997120	2.85	0.998381
-2.85	0.00219	-2.42	0.0161076	-1.98	0.036486	-1.54	0.070054	-1.10	0.160154	-0.66	0.238354	-0.22	0.412434	0.22	0.615934	0.66	0.736534	1.10	0.871484	1.54	0.941544	1.98	0.978374	2.42	0.997576	2.86	0.998488
-2.84	0.00226	-2.41	0.0170734	-1.97	0.038342	-1.53	0.072469	-1.09	0.164684	-0.65	0.240874	-0.21	0.416764	0.23	0.622364	0.67	0.739524	1.11	0.874534	1.55	0.943134	1.99	0.979284	2.43	0.998032	2.87	0.998596
-2.83	0.00233	-2.40	0.0180702	-1.96	0.040250	-1.52	0.074926	-1.08	0.169264	-0.64	0.243474	-0.20	0.421154	0.24	0.628804	0.68	0.742534	1.12	0.877604	1.56	0.944724	2.00	0.980194	2.44	0.998486	2.88	0.998701
-2.82	0.00240	-2.39	0.0200842	-1.95	0.042299	-1.51	0.077526	-1.07	0.173904	-0.63	0.246144	-0.19	0.425594	0.25	0.635254	0.69	0.745564	1.13	0.880704	1.57	0.946314	2.01	0.981004	2.45	0.998876	2.89	0.998807
-2.81	0.00248	-2.38	0.0222266	-1.94	0.044461	-1.50	0.080259	-1.06	0.178114	-0.62	0.248884	-0.18	0.430084	0.26	0.641764	0.70	0.748614	1.14	0.883734	1.58	0.947894	2.02	0.981814	2.46	0.999206	2.90	0.998913
-2.80	0.00256	-2.37	0.0244989	-1.93	0.046869	-1.49	0.083111	-1.05	0.182564	-0.61	0.251694	-0.17	0.434534	0.27	0.648344	0.71	0.751684	1.15	0.886784	1.59	0.949504	2.03	0.982624	2.47	0.999504	2.91	0.999019
-2.79	0.00264	-2.36	0.026914	-1.92	0.049433	-1.48	0.086844	-1.04	0.187264	-0.60	0.254564	-0.16	0.439044	0.28	0.654984	0.72	0.754764	1.16	0.889854	1.60	0.951134	2.04	0.983434	2.48	0.999933	2.92	0.999125
-2.78	0.00272	-2.35	0.029459	-1.91	0.052111	-1.47	0.090578	-1.03	0.192114	-0.59	0.257494	-0.15	0.443614	0.29	0.661684	0.73	0.757864	1.17	0.892944	1.61	0.952784	2.05	0.984244	2.49	0.999941	2.93	0.999231
-2.77	0.00280	-2.34	0.032146	-1.90	0.054934	-1.46	0.094426	-1.02	0.197024	-0.58	0.260484	-0.14	0.448264	0.30	0.668444	0.74	0.760984	1.18	0.896074	1.62	0.954424	2.06	0.985054	2.50	0.999949	2.94	0.999338
-2.76	0.00289	-2.33	0.034990	-1.89	0.057938	-1.45	0.098484	-1.01	0.202094	-0.57	0.263534	-0.13	0.452934	0.31	0.675264	0.75	0.764124	1.19	0.899224	1.63	0.956134	2.07	0.985864	2.51	0.999956	2.95	0.999444
-2.75	0.00298	-2.32	0.037994	-1.88	0.061094	-1.44	0.102764	-1.00	0.207204	-0.56	0.266744	-0.12	0.457614	0.32	0.682064	0.76	0.767284	1.20	0.902394	1.64	0.957864	2.08	0.986674	2.52	0.999963	2.96	0.999550
-2.74	0.00307	-2.31	0.041164	-1.87	0.064426	-1.43	0.107164	-0.99	0.212514	-0.55	0.270014	-0.11	0.462324	0.33	0.689014	0.77	0.770464	1.21	0.905564	1.65	0.959604	2.09	0.987484	2.53	0.999970	2.97	0.999656
-2.73	0.00317	-2.30	0.044494	-1.86	0.067914	-1.42	0.111724	-0.98	0.217944	-0.54	0.274464	-0.10	0.467064	0.34	0.696024	0.78	0.773664	1.22	0.908774	1.66	0.961354	2.10	0.988294	2.54	0.999977	2.98	0.999761
-2.72	0.00326	-2.29	0.048004	-1.85	0.071564	-1.41	0.116534	-0.97	0.223414	-0.53	0.279014	-0.09	0.471834	0.35	0.703094	0.79	0.776884	1.23	0.911994	1.67	0.963064	2.11	0.989104	2.55	0.999984	2.99	0.999866
-2.71	0.00336	-2.28	0.051794	-1.84	0.075526	-1.40	0.120614	-0.96	0.228064	-0.52	0.283684	-0.08	0.476634	0.36	0.710144	0.80	0.780124	1.24	0.915224	1.68	0.964794	2.12	0.989914	2.56	0.999991	3.00	0.999971
-2.70	0.00347	-2.27	0.055826	-1.83	0.080004	-1.39	0.125124	-0.95	0.233204	-0.51	0.288384	-0.07	0.481464	0.37	0.717314	0.81	0.783184	1.25	0.918464	1.69	0.966544	2.13	0.990724	2.57	0.999998		
-2.69	0.00357	-2.26	0.060014	-1.82	0.084864	-1.38	0.130164	-0.94	0.238364	-0.50	0.293114	-0.06	0.486324	0.38	0.724534	0.82	0.786264	1.26	0.921624	1.70	0.968304	2.14	0.991534	2.58	0.999999		
-2.68	0.00368	-2.25	0.065364	-1.81	0.090394	-1.37	0.135864	-0.93	0.243724	-0.49	0.297924	-0.05	0.491214	0.39	0.731784	0.83	0.789364	1.27	0.924794	1.71	0.970074	2.15	0.992344	2.59	0.999999		
-2.67	0.00379	-2.24	0.070994	-1.80	0.096214	-1.36	0.141864	-0.92	0.249264	-0.48	0.302814	-0.04	0.496134	0.40	0.739064	0.84	0.792484	1.28	0.927964	1.72	0.971844	2.16	0.993154	2.60	0.999999		
-2.66	0.00391	-2.23	0.076944	-1.79	0.102364	-1.35	0.148114	-0.91	0.255014	-0.47	0.307784	-0.03	0.501084	0.41	0.746384	0.85	0.795624	1.29	0.931134	1.73	0.973614	2.17	0.993964	2.61	0.999999		
-2.65	0.00402	-2.22	0.083164	-1.78	0.108864	-1.34	0.154864	-0.90	0.261064	-0.46	0.312834	-0.02	0.506064	0.42	0.753744	0.86	0.800764	1.30	0.934324	1.74	0.975384	2.18	0.994774	2.62	0.999999		
-2.64	0.00415	-2.21	0.090694	-1.77	0.115714	-1.33	0.162114	-0.89	0.268314	-0.45	0.318084	-0.01	0.511134	0.43	0.761164	0.87	0.805924	1.31	0.937524	1.75	0.977154	2.19	0.995584	2.63	0.999999		
-2.63	0.00427	-2.20	0.098544	-1.76	0.122964	-1.32	0.169764	-0.88	0.275864	-0.44	0.323434	-0.00	0.516304	0.44	0.768614	0.88	0.811104	1.32	0.940734	1.76	0.978924	2.20	0.996394	2.64	0.999999		
-2.62	0.00440	-2.19	0.106794	-1.75	0.130614	-1.31	0.177914	-0.87	0.283814	-0.43	0.328984	-0.00	0.521514	0.45	0.776164												

### 3. Puntos porcentuales de la distribución *t-student*

Gr.Lib.	$t_{0,9}$	$t_{0,95}$	$t_{0,975}$	$t_{0,99}$	$t_{0,995}$
1	3.077684	6.313752	12.706205	31.820516	63.656741
2	1.885618	2.919986	4.302653	6.964557	9.924843
3	1.637745	2.353380	3.182449	4.540703	5.840909
4	1.533206	2.131847	2.776445	3.746954	4.604097
5	1.475884	2.015048	2.570582	3.364930	4.032159
6	1.439756	1.943180	2.446912	3.142668	3.707428
7	1.414924	1.894579	2.364624	2.997952	3.499483
8	1.396815	1.859548	2.306004	2.896459	3.355387
9	1.383029	1.833113	2.262157	2.821438	3.249836
10	1.372184	1.812461	2.228139	2.763769	3.169273
11	1.363430	1.795885	2.200985	2.718079	3.105806
12	1.356217	1.782288	2.178813	2.680998	3.054540
13	1.350171	1.770933	2.160369	2.650309	3.012276
14	1.345030	1.761310	2.144787	2.624494	2.976843
15	1.340606	1.753050	2.131450	2.602480	2.946713
16	1.336757	1.745884	2.119905	2.583487	2.920782
17	1.333379	1.739607	2.109816	2.566934	2.898231
18	1.330391	1.734064	2.100922	2.552380	2.878440
19	1.327728	1.729133	2.093024	2.539483	2.860935
20	1.325341	1.724718	2.085963	2.527977	2.845340
21	1.323188	1.720743	2.079614	2.517648	2.831360
22	1.321237	1.717144	2.073873	2.508325	2.818756
23	1.319460	1.713872	2.068658	2.499867	2.807336
24	1.317836	1.710882	2.063899	2.492159	2.796940

### 4. Puntos porcentuales de la distribución F

Fisher 95 % de confiabilidad (5 % de significancia), 1 a 9 grados de libertad:

d./n.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.447639	199.500000	215.707345	224.583241	230.161878	233.986000	236.768400	238.882695	240.543255
2	18.512821	19.000000	19.164292	19.246794	19.296410	19.329534	19.353218	19.370993	19.384826
3	10.127964	9.552094	9.276628	9.117182	9.013455	8.940645	8.886743	8.845238	8.812300
4	7.708647	6.944272	6.591382	6.388233	6.256057	6.163132	6.094211	6.041044	5.998779
5	6.607891	5.786135	5.409451	5.192168	5.050329	4.950288	4.875872	4.818320	4.772466
6	5.987378	5.143253	4.757063	4.533677	4.387374	4.283866	4.206658	4.146804	4.099016
7	5.591448	4.737414	4.346831	4.120312	3.971523	3.865969	3.787044	3.725725	3.676675
8	5.317655	4.458970	4.066181	3.837853	3.687499	3.580580	3.500464	3.438101	3.388130
9	5.117355	4.256495	3.862548	3.633089	3.481659	3.373754	3.292746	3.229583	3.178893
10	4.964603	4.102821	3.708265	3.478050	3.325835	3.217175	3.135465	3.071658	3.020383
11	4.844336	3.982298	3.587434	3.356690	3.203874	3.094613	3.012330	2.947990	2.896223
12	4.747225	3.885294	3.490295	3.259167	3.105875	2.996120	2.913358	2.848565	2.796375
13	4.667193	3.805565	3.410534	3.179117	3.025438	2.915269	2.832098	2.766913	2.714356
14	4.600110	3.738892	3.343889	3.112250	2.958249	2.847726	2.764199	2.698672	2.645791
15	4.543077	3.682320	3.287382	3.055568	2.901295	2.790465	2.706627	2.640797	2.587626
16	4.493998	3.633723	3.238872	3.006917	2.852409	2.741311	2.657197	2.591096	2.537667
17	4.451322	3.591531	3.196777	2.964708	2.809996	2.698660	2.614299	2.547955	2.494291
18	4.413873	3.554557	3.159908	2.927744	2.772853	2.661305	2.576722	2.510158	2.456281
19	4.380750	3.521893	3.127350	2.895107	2.740058	2.628318	2.543534	2.476770	2.422699
20	4.351244	3.492828	3.098391	2.866081	2.710890	2.598978	2.514011	2.447064	2.392814
21	4.324794	3.466800	3.072467	2.840100	2.684781	2.572712	2.487578	2.420462	2.366048
22	4.300950	3.443357	3.049125	2.816708	2.661274	2.549061	2.463774	2.396503	2.341937
23	4.279344	3.422132	3.027998	2.795539	2.639999	2.527655	2.442226	2.374812	2.320105
24	4.259677	3.402826	3.008787	2.776289	2.620654	2.508189	2.422629	2.355081	2.300244
25	4.241699	3.385190	2.991241	2.758710	2.602987	2.490410	2.404728	2.337057	2.282097
26	4.225201	3.369016	2.975154	2.742594	2.586790	2.474109	2.388314	2.320527	2.265453
27	4.210008	3.354131	2.960351	2.727765	2.571886	2.459108	2.373208	2.305313	2.250131
28	4.195972	3.340386	2.946685	2.714076	2.558128	2.445259	2.359260	2.291264	2.235982
29	4.182964	3.327654	2.934030	2.701399	2.545386	2.432434	2.346342	2.278251	2.222874
30	4.170877	3.315830	2.922277	2.689628	2.533555	2.420523	2.334344	2.266163	2.210697
40	4.084746	3.231727	2.838745	2.605975	2.449466	2.335852	2.249024	2.180170	2.124029
60	4.001191	3.150411	2.758078	2.525215	2.368270	2.254053	2.166541	2.096968	2.040098
120	3.920124	3.071779	2.680168	2.447237	2.289851	2.175006	2.086770	2.016426	1.958763

Fisher 95 % de confiabilidad (5 % de significancia), 10 a 120 grados de libertad:

d./n.	10	12	15	20	24	30	40	60	120
1	241.881747	243.906038	245.949926	248.013082	249.051775	250.095148	251.143153	252.195739	253.252854
2	19.395897	19.412511	19.429135	19.445768	19.454089	19.462411	19.470736	19.479064	19.487394
3	8.785525	8.744641	8.702870	8.660190	8.638501	8.616576	8.594411	8.572004	8.549351
4	5.964371	5.911729	5.857805	5.802542	5.774389	5.745877	5.716998	5.687744	5.658105
5	4.735063	4.677704	4.618759	4.558131	4.527153	4.495712	4.463793	4.431380	4.398454
6	4.059963	3.999935	3.938058	3.874189	3.841457	3.808164	3.774286	3.739797	3.704667
7	3.636523	3.574676	3.510740	3.444525	3.410494	3.375808	3.340430	3.304323	3.267445
8	3.347163	3.283939	3.218406	3.150324	3.115240	3.079406	3.042778	3.005303	2.966923
9	3.137280	3.072947	3.006102	2.936455	2.900474	2.863652	2.825933	2.787249	2.747525
10	2.978237	2.912977	2.845017	2.774016	2.737248	2.699551	2.660855	2.621077	2.580122
11	2.853625	2.787569	2.718640	2.646445	2.608974	2.570489	2.530905	2.490123	2.448024
12	2.753387	2.686637	2.616851	2.543588	2.505482	2.466279	2.425880	2.384166	2.340995
13	2.671024	2.603661	2.533110	2.458882	2.420196	2.380334	2.339180	2.296596	2.252414
14	2.602155	2.534243	2.463003	2.387896	2.348678	2.308207	2.266550	2.222950	2.177811
15	2.543719	2.475313	2.403447	2.327535	2.287826	2.246789	2.204276	2.160105	2.114056
16	2.493513	2.424660	2.352223	2.275570	2.235405	2.193841	2.150711	2.105813	2.058895
17	2.449916	2.380654	2.307693	2.230354	2.189766	2.147708	2.103998	2.058411	2.010663
18	2.411702	2.342067	2.268622	2.190648	2.149665	2.107143	2.062885	2.016643	1.968100
19	2.377934	2.307954	2.234063	2.155497	2.114143	2.071186	2.026410	1.979544	1.930237
20	2.347878	2.277581	2.203274	2.124155	2.082454	2.039086	1.993819	1.946358	1.896318
21	2.320953	2.250362	2.175670	2.096033	2.054004	2.010248	1.964515	1.916486	1.865739
22	2.296696	2.225831	2.150778	2.070656	2.028319	1.984195	1.938018	1.889445	1.838018
23	2.274728	2.203607	2.128217	2.047638	2.005009	1.960537	1.913398	1.864844	1.812760
24	2.254739	2.183380	2.107673	2.026664	1.983760	1.938597	1.891955	1.842360	1.789642
25	2.236474	2.164891	2.088887	2.007471	1.964306	1.919188	1.871801	1.821727	1.768305
26	2.219718	2.147926	2.071642	1.989842	1.946428	1.901010	1.853255	1.802719	1.748795
27	2.204292	2.132303	2.055755	1.973590	1.929940	1.884236	1.836129	1.785149	1.730650
28	2.190044	2.117869	2.041071	1.958561	1.914686	1.868709	1.820263	1.768857	1.713800
29	2.176844	2.104493	2.027458	1.944620	1.900531	1.854293	1.805523	1.753704	1.698107
30	2.164580	2.092063	2.014804	1.931653	1.887360	1.840872	1.791790	1.739574	1.683452
40	2.077248	2.003459	1.924463	1.838859	1.792937	1.744432	1.692797	1.637252	1.576610
60	1.992592	1.917396	1.836437	1.747984	1.700117	1.649141	1.594273	1.534314	1.467267
120	1.910461	1.833695	1.750497	1.658680	1.608437	1.554343	1.495202	1.429013	1.351886

Fisher 99 % de confiabilidad (1 % de significancia), 1 a 9 grados de libertad:

d./n.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4052.180695	4999.500000	5403.352014	5624.583330	5763.649554	5858.986107	5928.355732	5981.070308	6022.473245
2	98.502513	99.000000	99.166201	99.249372	99.299296	99.332589	99.356374	99.374215	99.388093
3	34.116222	30.816520	29.456605	28.709898	28.237081	27.910657	27.671696	27.489177	27.345206
4	21.197690	18.000000	16.694369	15.977025	15.521858	15.206865	14.975758	14.798889	14.659134
5	16.258177	13.273934	12.059954	11.391928	10.967021	10.672255	10.455511	10.289311	10.157762
6	13.745023	10.924767	9.779538	9.148301	8.745895	8.466125	8.259995	8.106511	7.976121
7	12.246383	9.546578	8.451285	7.846645	7.460435	7.191405	6.992833	6.840049	6.718752
8	11.258624	8.649111	7.590992	7.006077	6.631825	6.370681	6.177624	6.028870	5.910619
9	10.561431	8.021517	6.991917	6.422085	6.056941	5.801770	5.612865	5.467123	5.351129
10	10.044289	7.559432	6.552313	5.994339	5.636326	5.385811	5.200121	5.056693	4.942421
11	9.646034	7.205713	6.216730	5.668300	5.316009	5.069210	4.886072	4.744468	4.631540
12	9.330212	6.926608	5.952545	5.411951	5.064343	4.820574	4.639502	4.499365	4.387510
13	9.073806	6.700965	5.739380	5.205330	4.861621	4.620363	4.440997	4.302062	4.191078
14	8.861593	6.514884	5.563886	5.035378	4.694964	4.455820	4.277882	4.139946	4.029680
15	8.683117	6.358873	5.416965	4.893210	4.555614	4.318273	4.141546	4.004453	3.894788
16	8.530965	6.226235	5.292214	4.772578	4.437420	4.201634	4.025947	3.889572	3.780415
17	8.399740	6.112114	5.185000	4.668968	4.335939	4.101505	3.926719	3.790964	3.682242
18	8.285420	6.012905	5.091890	4.579036	4.247882	4.014637	3.840639	3.705422	3.597074
19	8.184947	5.925879	5.010287	4.500258	4.170767	3.938573	3.765269	3.630525	3.522503
20	8.095958	5.848932	4.938193	4.430690	4.102685	3.871427	3.698740	3.564412	3.456676
21	8.016597	5.780416	4.874046	4.368815	4.042144	3.811725	3.639590	3.505632	3.398147
22	7.945386	5.719022	4.816606	4.313429	3.987963	3.758301	3.586660	3.453034	3.345773
23	7.881134	5.663699	4.764877	4.263567	3.939195	3.710218	3.539024	3.405695	3.298634
24	7.822871	5.613591	4.718051	4.218445	3.895070	3.666717	3.495928	3.362867	3.255985
25	7.769798	5.567997	4.675465	4.177420	3.854957	3.627174	3.456754	3.323937	3.217217
26	7.721254	5.526335	4.636570	4.139960	3.818336	3.591075	3.420993	3.288399	3.181824
27	7.676684	5.488118	4.600907	4.105622	3.784770	3.557991	3.388219	3.255827	3.149385
28	7.635619	5.452937	4.568091	4.074032	3.753895	3.527559	3.358073	3.225868	3.119547
29	7.597663	5.420445	4.537795	4.044873	3.725399	3.499475	3.330252	3.198219	3.092009
30	7.562476	5.390346	4.509740	4.017877	3.699019	3.473477	3.304499	3.172624	3.066516
40	7.314100	5.178508	4.312569	3.828294	3.513840	3.291012	3.123757	2.992981	2.887560
60	7.077106	4.977432	4.125892	3.649047	3.338884	3.118674	2.953049	2.823280	2.718454
120	6.850893	4.786510	3.949100	3.479531	3.173545	2.955854	2.791764	2.662906	2.558574

Fisher 99 % de Confiabilidad (1 % de Significancia), 10 a 120 grados de libertad:

d./n.	10	12	15	20	24	30	40	60	120
1	6055.846707	6106.320708	6157.284615	6208.730222	6234.630894	6260.648579	6286.782054	6313.030053	6339.391275
2	99.399196	99.415852	99.432511	99.449171	99.457502	99.465833	99.474165	99.482497	99.490829
3	27.228734	27.051819	26.872195	26.689791	26.597523	26.504534	26.410813	26.316351	26.221139
4	14.545901	14.373587	14.198202	14.019609	13.929064	13.837660	13.745379	13.652198	13.558096
5	10.051017	9.888275	9.722219	9.552646	9.466471	9.379329	9.291189	9.202015	9.111771
6	7.874119	7.718333	7.558994	7.395832	7.312721	7.228533	7.143222	7.056737	6.969023
7	6.620063	6.469091	6.314331	6.155438	6.074319	5.992010	5.908449	5.823566	5.737286
8	5.814294	5.666719	5.515125	5.359095	5.279264	5.198130	5.115610	5.031618	4.946052
9	5.256542	5.111431	4.962078	4.807995	4.728998	4.648582	4.566649	4.483087	4.397769
10	4.849147	4.705870	4.558140	4.405395	4.326929	4.246933	4.165287	4.081855	3.996481
11	4.539282	4.397401	4.250867	4.099046	4.020910	3.941132	3.859573	3.776071	3.690436
12	4.296054	4.155258	4.009619	3.858433	3.780485	3.700789	3.619181	3.535473	3.449440
13	4.100267	3.960326	3.815365	3.664609	3.586753	3.507042	3.425293	3.341283	3.254760
14	3.939396	3.800141	3.655697	3.505222	3.427387	3.347596	3.265641	3.181274	3.094191
15	3.804940	3.666240	3.522194	3.371892	3.294029	3.214110	3.131906	3.047135	2.959453
16	3.690931	3.552687	3.408947	3.258737	3.180811	3.100733	3.018248	2.933046	2.844737
17	3.593066	3.455198	3.311694	3.161518	3.083502	3.003241	2.920458	2.834806	2.745852
18	3.508162	3.370608	3.227286	3.077097	2.998974	2.918516	2.835420	2.749309	2.659701
19	3.433817	3.296527	3.153343	3.003109	2.924866	2.844201	2.760786	2.674211	2.583944
20	3.368186	3.231120	3.088041	2.937735	2.859363	2.778485	2.694749	2.607708	2.516783
21	3.309830	3.172953	3.029951	2.879556	2.801050	2.719955	2.635896	2.548393	2.456813
22	3.257606	3.120891	2.977946	2.827447	2.748802	2.667490	2.583111	2.495149	2.402919
23	3.210599	3.074025	2.931118	2.780504	2.701720	2.620191	2.535496	2.447081	2.354209
24	3.168069	3.031615	2.888732	2.737997	2.659072	2.577329	2.492321	2.403461	2.309955
25	3.129406	2.993056	2.850186	2.699325	2.620260	2.538305	2.452990	2.363691	2.269562
26	3.094108	2.957848	2.814982	2.663991	2.584787	2.502624	2.417007	2.327279	2.232536
27	3.061754	2.925573	2.782703	2.631580	2.552239	2.469872	2.383960	2.293812	2.198465
28	3.031992	2.895881	2.753000	2.601744	2.522268	2.439701	2.353501	2.262941	2.167001
29	3.004524	2.868472	2.725577	2.574188	2.494579	2.411817	2.325335	2.234372	2.137851
30	2.979094	2.843095	2.700180	2.548659	2.468921	2.385967	2.299211	2.207854	2.110762
40	2.800545	2.664827	2.521616	2.368876	2.287998	2.203382	2.114232	2.019411	1.917191
60	2.631751	2.496116	2.352297	2.197806	2.115364	2.028479	1.936018	1.836259	1.726320
120	2.472077	2.336300	2.191504	2.034588	1.950018	1.860005	1.762849	1.655693	1.532992

## 5 Puntos Porcentuales de la distribución Chi cuadrado

Gr.Lib.	$\chi^2_{0.9}$	$\chi^2_{0.95}$	$\chi^2_{0.975}$	$\chi^2_{0.99}$	$\chi^2_{0.995}$
1	2.705543	3.841459	5.023886	6.634897	7.879439
2	4.605170	5.991465	7.377759	9.210340	10.596635
3	6.251389	7.814728	9.348404	11.344867	12.838156
4	7.779440	9.487729	11.143287	13.276704	14.860259
5	9.236357	11.070498	12.832502	15.086272	16.749602
6	10.644641	12.591587	14.449375	16.811894	18.547584
7	12.017037	14.067140	16.012764	18.475307	20.277740
8	13.361566	15.507313	17.534546	20.090235	21.954955
9	14.683657	16.918978	19.022768	21.665994	23.589351
10	15.987179	18.307038	20.483177	23.209251	25.188180
11	17.275009	19.675138	21.920049	24.724970	26.756849
12	18.549348	21.026070	23.336664	26.216967	28.299519
13	19.811929	22.362032	24.735605	27.688250	29.819471
14	21.064144	23.684791	26.118948	29.141238	31.319350
15	22.307130	24.995790	27.488393	30.577914	32.801321
16	23.541829	26.296228	28.845351	31.999927	34.267187
17	24.769035	27.587112	30.191009	33.408664	35.718466

18	25.989423	28.869299	31.526378	34.805306	37.156451
19	27.203571	30.143527	32.852327	36.190869	38.582257
20	28.411981	31.410433	34.169607	37.566235	39.996846
21	29.615089	32.670573	35.478876	38.932173	41.401065
22	30.813282	33.924438	36.780712	40.289360	42.795655
23	32.006900	35.172462	38.075627	41.638398	44.181275
24	33.196244	36.415029	39.364077	42.979820	45.558512
25	34.381587	37.652484	40.646469	44.314105	46.927890
26	35.563171	38.885139	41.923170	45.641683	48.289882
27	36.741217	40.113272	43.194511	46.962942	49.644915
28	37.915923	41.337138	44.460792	48.278236	50.993376
29	39.087470	42.556968	45.722286	49.587884	52.335618
30	40.256024	43.772972	46.979242	50.892181	53.671962
40	51.805057	55.758479	59.341707	63.690740	66.765962
50	63.167121	67.504807	71.420195	76.153891	79.489978
60	74.397006	79.081944	83.297675	88.379419	91.951698
70	85.527043	90.531225	95.023184	100.425184	104.214899
80	96.578204	101.879474	106.628568	112.328793	116.321057
90	107.565009	113.145270	118.135893	124.116319	128.298944
100	118.498004	124.342113	129.561197	135.806723	140.169489

## 6. Rangos significativos para Tukey

Grados de libertad en el denominador ( $v_2$ )		Grados de libertad en el numerador ( $v_1$ )											
↓	p	1	2	3	4	5	6	7	8	12	24	$\infty$	
5	.10	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.27	3.19	3.11	
	.05	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.68	4.53	4.37	
	.01	16.3	13.3	12.1	11.4	11.0	10.7	10.5	10.3	9.89	9.47	9.02	
6	.10	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.90	2.82	2.72	
	.05	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.00	3.84	3.67	
	.01	13.7	10.9	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.72	7.31	6.88	
7	.10	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.67	2.58	2.47	
	.05	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.57	3.41	3.23	
	.01	12.2	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.47	6.07	5.65	
8	.10	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.50	2.40	2.29	
	.05	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.27	3.11	2.93	
	.01	11.3	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.67	5.28	4.86	
9	.10	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.38	2.28	2.16	
	.05	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.07	2.90	2.71	
	.01	10.6	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.11	4.73	4.31	
10	.10	3.29	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.28	2.18	2.06	
	.05	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	2.91	2.74	2.54	
	.01	10.0	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.71	4.33	3.91	
11	.10	3.23	2.86	2.66	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.21	2.10	1.97	
	.05	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.79	2.61	2.40	
	.01	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.40	4.02	3.60	
12	.10	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.33	2.28	2.24	2.15	2.04	1.90	
	.05	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.69	2.51	2.30	
	.01	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.16	3.78	3.36	
13	.10	3.14	2.76	2.56	2.43	2.35	2.28	2.23	2.20	2.10	1.98	1.85	
	.05	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.60	2.42	2.21	
	.01	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	3.96	3.59	3.17	

14	.10	3.10	2.73	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.05	1.94	1.80
	.05	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.53	2.35	2.13
	.01	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	3.80	3.43	3.00
15	.10	3.07	2.70	2.49	2.36	2.27	2.21	2.16	2.12	2.02	1.90	1.76
	.05	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.48	2.29	2.07
	.01	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.67	3.29	2.87
16	.10	3.05	2.67	2.46	2.33	2.24	2.18	2.13	2.09	1.99	1.87	1.72
	.05	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.42	2.24	2.01
	.01	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.55	3.18	2.75
17	.10	3.03	2.64	2.44	2.31	2.22	2.15	2.10	2.06	1.96	1.84	1.69
	.05	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.38	2.19	1.96
	.01	8.40	6.11	5.19	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.46	3.08	2.65
18	.10	2.99	2.62	2.42	2.29	2.20	2.13	2.08	2.04	1.93	1.81	1.66
	.05	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.34	2.15	1.92
	.01	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.37	3.00	2.57
19	.10	2.99	2.61	2.40	2.27	2.18	2.11	2.06	2.02	1.91	1.79	1.63
	.05	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.31	2.11	1.88
	.01	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.30	2.92	2.49
20	.10	2.97	2.59	2.38	2.25	2.16	2.09	2.04	2.00	1.89	1.77	1.61
	.05	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.28	2.08	1.84
	.01	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.23	2.86	2.42

## 7. Valores críticos de la prueba del signo

		$r_n^*$						$r_n^*$			
$n$	$\alpha$	0.10	0.05	0.01	Two-sided tests	$n$	$\alpha$	0.10	0.05	0.01	Two-sided tests
		0.05	0.025	0.005	One-sided tests			0.05	0.025	0.005	One-sided tests
5		0				23		7	6	4	
6		0	0			24		7	6	5	
7		0	0			25		7	7	5	
8		1	0	0		26		8	7	6	
9		1	1	0		27		8	7	6	
10		1	1	0		28		9	8	6	
11		2	1	0		29		9	8	7	
12		2	2	1		30		10	9	7	
13		3	2	1		31		10	9	7	
14		3	2	1		32		10	9	8	
15		3	3	2		33		11	10	8	
16		4	3	2		34		11	10	9	
17		4	4	2		35		12	11	9	
18		5	4	3		36		12	11	9	
19		5	4	3		37		13	12	10	
20		5	5	3		38		13	12	10	
21		6	5	4		39		13	12	11	
22		6	5	4		40		14	13	11	

(Montgomery, 1996: 671)

## 8. Valores críticos para la prueba de rango con signo de Wilcoxon

$n^*$ \ $\alpha$	$W_{\alpha}^*$				Two-sided tests One-sided tests
	0.10 0.05	0.05 0.025	0.02 0.01	0.01 0.005	
4					
5	0				
6	2	0			
7	3	2	0		
8	5	3	1	0	
9	8	5	3	1	
10	10	8	5	3	
11	13	10	7	5	
12	17	13	9	7	
13	21	17	12	9	
14	25	21	15	12	
15	30	25	19	15	
16	35	29	23	19	
17	41	34	27	23	
18	47	40	32	27	
19	53	46	37	32	
20	60	52	43	37	
21	67	58	49	42	
22	75	65	55	48	
23	83	73	62	54	
24	91	81	69	61	
25	100	89	76	68	

\* If  $n > 25$ ,  $W^+$  (or  $W^-$ ) is approximately normally distributed with mean  $n(n+1)/4$  and variance  $n(n+1)(2n+1)/24$ .

(Montgomery, 1996: 671)

## 9 Valores críticos para la prueba de rango con signo de Wilcoxon

$n_1^*$ \ $n_2$	$W_{0.05}$												
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
4	10												
5	11	17											
6	12	18	26										
7	13	20	27	36									
8	14	21	29	38	49								
9	15	22	31	40	51	63							
10	15	23	32	42	53	65	78						
11	16	24	34	44	55	68	81	96					
12	17	26	35	46	58	71	85	99	115				
13	18	27	37	48	60	73	88	103	119	137			
14	19	28	38	50	63	76	91	106	123	141	160		
15	20	29	40	52	65	79	94	110	127	145	164	185	
16	21	31	42	54	67	82	97	114	131	150	169		
17	21	32	43	56	70	84	100	117	135	154			
18	22	33	45	58	72	87	103	121	139				
19	23	34	46	60	74	90	107	124					
20	24	35	48	62	77	93	110						
21	25	37	50	64	79	95							
22	26	38	51	66	82								
23	27	39	53	68									
24	28	40	55										
25	28	42											
26	29												
27													
28													

\* For  $n_1$  and  $n_2 > 8$ ,  $W_1$  is approximately normally distributed with mean  $\frac{1}{2}n_1(n_1 + n_2 + 1)$  and variance  $n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)/12$ .

(Montgomery, 1996: 672)

## 10 Valores críticos para la prueba de rango con signo de Wilcoxon (continuación)

$n_1 \backslash n_2$	$W_{0,01}$											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5		15										
6	10	16	23									
7	10	17	24	32								
8	11	17	25	34	43							
9	11	18	26	35	45	56						
10	12	19	27	37	47	58	71					
11	12	20	28	38	49	61	74	87				
12	13	21	30	40	51	63	76	90	106			
13	14	22	31	41	53	65	79	93	109	125		
14	14	22	32	43	54	67	81	96	112	129	147	
15	15	23	33	44	56	70	84	99	115	133	151	171
16	15	24	34	46	58	72	86	102	119	137	155	
17	16	25	36	47	60	74	89	105	122	140		
18	16	26	37	49	62	76	92	108	125			
19	17	27	38	50	64	78	94	111				
20	18	28	39	52	66	81	97					
21	18	29	40	53	68	83						
22	19	29	42	55	70							
23	19	30	43	57								
24	20	31	44									
25	20	32										
26	21											
27												
28												

(Montgomery, 1996: 672)

## **Ximena Cifuentes Wehima**

Ingeniera Agroindustrial Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia, con especializaciones en Fruticultura Tropical (Universidad del Tolima) y Pedagogía y Docencia Universitaria (Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia). Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (Universidad de Manizales).

Líder del grupo de investigación Gerencia de la Tierra e investigadora del grupo Agroindustrialización GIDA. Ponente en diferentes eventos Nacionales e internacionales y publicaciones en revistas indexadas como investigadora y Co investigadora con resultados de trabajos en las líneas de Producción y desarrollo sustentable, Gestión Tecnológica para la productividad y competitividad y Proceso de formación y Gestión de la Facultad de Ingenierías.

Dentro de su experiencia, la ingeniera Cifuentes se ha destacado como docente en las Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia, Universidad del Quindío (Armenia-Colombia) y Universidad del Tolima, así como en la administración académica de en la Universidad La Gran Colombia durante 7 años.

Actualmente es Decana de La Facultad de Ingenierías Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia.

## **Lina María Jaramillo Echeverry**

Química de la Universidad del Quindío, con especializaciones en Gestión de la Calidad y Normalización Técnica (Universidad Tecnológica de Pereira) y Pedagogía y Docencia Universitaria (Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia), actualmente es candidata a magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (Universidad de Manizales).

Líder de Laboratorios de la Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia, investigadora del Grupo de Investigación Agroindustrialización GIDA. La Química Jaramillo ha sido ponente en diferentes eventos nacionales e internacionales y publicaciones en revistas indexadas como investigadora y coinvestigadora con resultados de trabajos en las áreas de Metrología, gestión de laboratorios, gestión de calidad y pedagogía.

Su experiencia docente ha estado en la Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia, Universidad del Tolima, Corporación Universitaria Empresarial Alexander von Humboldt. Actualmente es líder de Laboratorios de Ingeniería de la Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia.

## **Luis Miguel Mejía Giraldo**

Ingeniero Agrónomo de la Universidad de Caldas con especializaciones en Pedagogía y Docencia Universitaria (Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia) y Gestión para el Desarrollo Empresarial (Santo Tomás de Aquino). Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (Universidad de Manizales).

Docente investigador de la Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia, líder del Grupo de Investigación para el Desarrollo Agroindustrial – GIDA y miembro del grupo de investigación de Gerencia de la Tierra; a su vez, es par evaluador de las salas de Agronomía, Forestales y Estadística de Colciencias, asesor en gestión y formulación de proyectos y consultor en análisis estadístico y prospectivo.

Ha representado a Colombia en proyectos asociados a sostenibilidad, análisis multivariado, investigación y desarrollo (I+D), demanda tecnológica y diseño de modelos prospectivos y multivariantes para la formulación de planes de desarrollo agroindustrial.

Dentro de sus trabajos más relevantes están los libros de *Análisis estadístico de sistemas ecológicos* y *Factores de inseguridad alimentaria en el departamento del Quindío*.

Ha trabajado en diversos proyectos de investigación en ecología, floricultura, análisis de la dinámica temporal en series históricas de precios de productos agrícolas, estudios prospectivos y de diseño experimental aplicado a procesos de investigación, desarrollo e innovación.

## **Maritza Torres Barrero**

Ingeniera de Sistemas y Computación de la Universidad del Quindío, con especializaciones en Gerencia para Ingenieros (Universidad Pontificia Bolivariana) y Pedagogía y Docencia Universitaria (Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia), Magister en Ingeniería con énfasis en Informática (Universidad EAFIT).

Líder del grupo de investigación RIDT (Research, Innovation, Development and Technology) de la Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia y coinvestigadora del grupo de investigación agroindustrialización GIDA. La ingeniera Torres ha sido ponente en diferentes eventos nacionales e internacionales y publicaciones en revistas indexadas como investigadora y coinvestigadora con resultados de trabajos en las áreas de diseño e implementación de un sistema experto para evaluar el desarrollo cognitivo y motor de niños, diseño de un repositorio para la gestión documental y administración automática de la información digital en las empresas, construcción

de una interfaz basada en comandos de voz, integrada a una aplicación de correo electrónico para invidentes, entre otros.

La Ingeniera Torres ha sido galardonada ante la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería, ACOFI, con el primer puesto en modalidad Mejor Ponencia Oral en el año 2011, con el trabajo titulado Adaptación de Técnicas PSP (*Personal Software Process*) en el proceso de formación de estudiantes de ingeniería para la generación de hábitos de responsabilidad, organización y estudio que le permitan proyectarse a su entorno laboral. Su experiencia docente ha estado en la Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia, y en la actualidad es la Secretaria de Facultad de Ingenierías de dicha Universidad.