

Papel de la estadística en la investigación científica (Role of statistics in scientific research)

Badii, M.H., J. Castillo, J. ¹Landeros & K. Cortez

UANL, San Nicolás, N.L., mhbadii@yahoo.com.mx, ¹UAAAN, Coah. México

Palabras claves: Deducción, diseños, estadística, experimentación, inducción, modelo ECOEE

Resumen. Se describen las bases fundamentales de la estadística y su aplicación a la investigación científica. Se discuten los conceptos relevantes en la ciencia estadística. Se manejan los tipos de datos estadísticos a coleccionar. Se presentan de manera somera, algunos diseños estadísticos de uso común en la literatura científica actual. Se considerarán las pistas esenciales para realizar investigación científica. Finalmente, se notan la manera (modelo de ECOEE) de contrastar científicamente los trabajos distintos de investigación con base estadística, evitando ignorar los elementos esenciales que proveen sustento científico a la discusión y las comparaciones correctas de los hallazgos.

Key words: Deduction, design, experiment, induction, ECOSET model, statistics

Abstract. The fundamental basics of statistics are described. Important statistical concepts are laid out. Different types of statistical data collection are highlighted. Some common statistical designs are briefly discussed. Some essential hints for conducting scientific research are provided. Finally, different ways (ECOSET model) of contrasting and comparing distinct findings in scientific research which emphasizes the crucial points of view and sound discussions are noted.

Introducción

Según Badii et al. (2004), Foroughbakh & Badii (2005), Badii et al. (2006) y Badii & Castillo (2007), la estadística se trata de verificar la validez probabilística de los acontecimientos en la escala tiempo-espacio, también se la usa para relacionar los eventos diarios; como la predicción del tiempo o al determinar el nivel probalístico de las tasas de cambio de las monedas extranjeras en el mercado financiero (Badii et al., 2007a, b, c, d, e).

No obstante, en la investigación formal es donde la estadística se emplea y es de mayor relevancia para la humanidad. Estadística, derivado del latín *status*, que significa estado, posición o situación, se define como conjunto de técnicas para la colección, manejo, descripción y análisis de información, de manera tal que los resultados obtenidos de su aplicación tengan un grado de aplicabilidad específico con su nivel probabilístico indicado.

Además, por estadística entendemos la colección de los datos que caracterizan las condiciones predominantes en un país, por ejemplo, el número de nacimientos y muertes, las cosechas, el comercio exterior, etc. Por estadísticas oficiales entendemos los datos publicados por las agencias del gobierno en forma de información o de prospectos (Infante Gil y Zárate de Lara, 2000).

Además, es la ciencia que estudia conjuntos de datos cualitativos y su interpretación en términos matemáticos, estableciendo métodos para la obtención de las medidas que lo describen, así como para el análisis de las conclusiones, con especial referencia a la teoría de la probabilidad, considerada también como ciencia de base matemática para la toma de decisiones en presencia de la incertidumbre. Indica una medida o fórmula especial, tal como un promedio, un número índice o un coeficiente de correlación, calculado sobre la base de los datos. Considerada también como un suministro de un conjunto de herramientas sumamente útiles en la investigación (Badii et al., 2004).

Las primeras aplicaciones de la estadística se limitaban únicamente a determinar el punto donde la tendencia general era evidente (si es que existía), de una gran cantidad de datos observados. Al mismo tiempo, en muchas ciencias se hizo énfasis de que en lugar de hacer estudios individuales, deberían hacerse estudios de comportamiento de grupos de individuos. Los métodos de estadística satisficieron admirablemente tal necesidad pues, los grupos concuerdan consistentemente con el concepto de la población o el universo (Badii et al., 2004, Badii & Castillo, 2007).

El mayor desenvolvimiento de la estadística surgió al presentarse la necesidad de mejorar la herramienta analítica en ciencias naturales. Se requería mejores herramientas analíticas para optimizar el proceso de interpretación de datos de la muestra y la generalización, que a partir de ellas, podría hacerse. Por ejemplo, el agricultor siempre está enfrentando el

problema de mantener un alto nivel de productividad en sus cosechas (Foroughbakhch & Badii, 2005, Badii & Castillo, 2007).

La estadística analiza o procesa conjuntos de datos numéricos, estudia las funciones decisorias estadísticas, fenómenos conjuntos para revelar los fundamentos de su desarrollo y para tal estudio se sirve de índices generalizadores (valores, medios, relaciones, porcentajes, etc.). La estadística auxilia a la investigación al tratar con los siguientes temas.

1. La colecta y compilación de datos.
2. El diseño de experimentos.
3. La medición de la valoración, tanto de datos experimentales como de reconocimientos y detección de causas.
4. El control de la calidad de la producción.
5. La determinación de parámetros de población y suministro de varias medidas de la exactitud y precisión de esas estimaciones.
6. La estimación de cualidades humanas.
7. La investigación de mercados, incluyendo escrutinios de opiniones emitidas.
8. El ensayo de hipótesis respecto a poblaciones.
9. El estudio de la relación entre dos o más variables (Badii et al., 2004, Foroughbakhch & Badii, 2005, Badii & Castillo, 2007).

Desarrollo del concepto

La estadística tiene como objeto el estudio de determinadas magnitudes individuales que supuestamente varían de un modo aleatorio en el seno de cierta población. Puede tratarse, por ejemplo, de la altura de los habitantes de un país. Dicho estudio se organiza en dos fases que constituyen los respectivos temas propios de la estadística deductiva o descriptiva y de la estadística inductiva o inferencial (Ostle, 1986; Steel & Torrie, 1986, Badii et al., 2004, Badii et al., 2007a, b, c, d, e).

En el desarrollo de la ciencia en general y en especial en el de las ciencias biológicas, el conocimiento de la metodología estadística es una arma imprescindible para la obtención, análisis e interpretación de todos los datos que proceden de las observaciones sistemáticas o de experimentaciones proyectadas específicamente para conocer los efectos de uno o varios factores que intervienen en los fenómenos bajo estudio.

La estadística permite probar hipótesis planteadas por el experimentador, determina procedimientos prácticos para estimar parámetros que intervienen en modelos matemáticos y de esa manera construir ecuaciones empíricas.

No existe investigación, proceso o trabajo encaminado a obtener información cuantitativa en general, en la que la estadística no tenga una aplicación. La estadística no puede ser ignorada por ningún investigador, aún cuando no tenga ocasión de emplear la estadística aplicada en todos sus detalles y ramificaciones.

Los resultados de una investigación agroalimentaria reflejan los efectos de tratamiento, de diseño, e incluso de factores biológicos, ambientales y de manejo que los emplean. Es una característica común en los experimentos, en muy diversos campos de la investigación, que los efectos de los tratamientos experimentales varían de un ensayo a otro, cuando se repiten. Esta variación introduce cierto grado de incertidumbre en cualquiera de las conclusiones que se obtienen de los resultados (Morris, 1999, Badii et al., 2007a, b, c, d, e)

Por lo general, cuando la estadística se usa adecuadamente, hace más eficientes las investigaciones, por lo que es recomendable que todos investigadores se familiaricen con ella. El papel de la estadística en la investigación representa una poderosa herramienta en el diseño de investigaciones, en el análisis de datos, y en la obtención de conclusiones a partir de ellos (Ostle, 1986, Badii et al., 2007a).

La investigación científica se lleva a cabo cuando hay un problema, el cual debe ser resoluble y enunciado en forma de pregunta. La investigación procede entonces a la formulación de una o varias hipótesis como posibles soluciones al problema, la cual o las cuales se comprueban para determinar si son falsas o verdaderas.

Los resultados del estudio se resumen más tarde en forma de un reporte formal, que no es más que un enunciado en forma concisa de lo que se encontró en la investigación. El propósito inmediato de un estudio es llegar a un reporte formal, ya que si el experimento es exploratorio, el reporte puede servir como base para formular una hipótesis específica y precisa; y si el experimento es confirmatorio, el reporte servirá para determinar si la hipótesis es probablemente verdadera o falsa (Badii & Castillo, 2007).

La noción de la investigación

La mayoría de los investigadores ven la necesidad del análisis estadístico para sentar una base objetiva de evaluación; algunos ejemplos pueden resultar útiles. Si cosechamos dos áreas iguales de trigo en un campo, el grano producido en esas áreas, si son siembras por surcos de longitud o por melgas, rara vez será igual; el peso de los frutos de árboles adyacentes en un huerto, difícilmente es el mismo; la proporción de aumento de peso de dos animales cualesquiera de la misma especie y raza, casi siempre difiere. Las diferencias de este tipo entre cultivos o animales son debidas a diferencias genéticas y ambientales más allá del control razonable de un experimento. No hay errores en el sentido de estar equivocados, es decir, estas variaciones representan la variabilidad entre unidades experimentales, denominada error experimental.

Una vez que reconocemos la existencia de esta variabilidad, entendemos la dificultad para evaluar una nueva práctica, mediante su aplicación a una unidad experimental única y su comparación con otra unidad que es similar, pero no tratada. El efecto de la nueva práctica se confunde con la variabilidad no determinada. Así, un experimento con una sola repetición suministra una medición incompleta del efecto del tratamiento; además, puesto que no existen dos unidades experimentales igualmente tratadas, éste no suministra mediciones del error experimental. La ciencia estadística supera estas dificultades, requiriendo la recolección de datos experimentales que permitirán una estimación imparcial de los efectos del tratamiento y la evaluación de las diferencias del tratamiento a través de pruebas de significancia estadística basadas en medición del error experimental.

El error experimental no se puede eliminar, pero sus efectos se pueden reducir para obtener una mejor utilización de los efectos de los tratamientos. Las modalidades más recomendadas para disminuir el error son: utilizar unidades experimentales muy uniformes como suelo homogéneo, riegos, grupos de animales de peso muy parecido, etc., tamaño adecuado de la unidad experimental, eliminación del efecto de la orilla y de la competencia entre tratamientos, distribución adecuada de los tratamientos mediante sorteos, uso del número adecuado de repeticiones para cada tratamiento, posición de los tratamientos en igualdad de condiciones de manera que si alguno es superior a los demás, se pueda probar.

Los efectos del tratamiento son estimados mediante la aplicación de tratamientos a por lo menos dos unidades experimentales, por regla general a más de dos, y promediando los resultados para cada tratamiento. Las pruebas de significancia estadística determinan la probabilidad de que las diferencias entre tratamiento pudieran haber ocurrido solamente por casualidad (Badii et al., 2004)

Existen tres importantes principios, inherentes a todos los proyectos experimentales que son esenciales para los objetivos de la ciencia estadística:

1. Selección aleatorio de las unidades experimentales: es la asignación de tratamientos a unidades experimentales, de modo que todas las unidades consideradas tengan igual probabilidad de recibir un tratamiento. Su función es asegurar estimaciones imparciales de medias de tratamientos y del error experimental e *evitar el sesgo*.

2. Número de repetición: significa que un tratamiento se efectúa dos o más veces. Su función es suministrar una *estimación del error experimental* y brindar una medición más precisa de los efectos del tratamiento. El número de repeticiones que se requerirán en un experimento en particular, depende de la magnitud de las diferencias que deseamos detectar y de la variabilidad de los datos con los que estamos trabajando. Considerando estos dos aspectos al inicio de un experimento, evitará muchas equivocaciones.

3. Control local de las condiciones: es un principio de diseño experimental que permite ciertas restricciones sobre la selección aleatoria para *reducir el error experimental*; por ejemplo, en el diseño de bloques al azar, los tratamientos son agrupados en bloques que se espera tengan un desempeño diferente, en el cual cada uno de ellos presente un efecto de bloque que se puede separar de la variación total del experimento (Morris, 1999, Badii et al., 2004).

Definiciones estadísticas fundamentales

De manera breve se definen algunos puntos de suma relevancia con respecto al uso de la estadística en la investigación científica (Badii et al., 2004, Badii & Castillo, 2007).

- 1. El método.** Un procedimiento o serie de pasos a realizar para lograr un objetivo.
- 2. La técnica.** Un conjunto de acciones realizadas en base al conocimiento para generar objetos, programas, formularios, etc. De una manera más simple la técnica significa un procedimiento para obtener un objetivo práctico.
- 3. La práctica.** Se trata de una técnica o un método repetitivo que por consecuencia convierte a la persona como un experto de la técnica o método practicado.
- 4. La investigación.** Un estudio organizado y sistematizado que basado en la experimentación genera un nuevo descubrimiento o verifica la validez de los descubrimientos anteriores.
- 5. El experimento.** Un procedimiento que basado en el control de las condiciones permite verificar (apoyar, rechazar o modificar) una hipótesis. Un experimento puede ser considerado como una pregunta que detectará nuevos hechos, confirmará los resultados de ensayos anteriores y dará recomendaciones de aplicación práctica (Badii et al., 2004).
- 6. Unidad experimental.** La unidad material del experimento al cual se aplica el experimento.
- 7. Control de las condiciones.** Se trata de controlar aquellas condiciones externas a las unidades experimentales que pueden ocasionar variación o ruido en los resultados del experimento.
- 8. El tratamiento.** La condición específica del experimento bajo del cual está sujeto la unidad experimental. Es una de las formas que (en cantidad y calidad) el factor a estudiar toma durante el experimento. Por ejemplo, si el factor a estudiar es la cantidad de fósforo, cada una de las dosis de fósforo aplicados durante el experimento es un tratamiento. Los tratamientos a estudiar durante un experimento pueden ser una combinación de varios factores simples: si quiere estudiarse la cantidad de proteína y energía digestible requeridos para la engorda de corderos, se puede considerar tratamientos simples como 14% de proteína en la dieta y 2.4 Mcal de energía digestible por kg de alimento. Otro ejemplo sería que el productor de detergentes puede establecer como tratamiento el tipo de agua (dura o suave), la temperatura del agua, la duración de lavado, la marca y tipo de lavadora. En estudios sociológicos y psicológicos, los tratamientos se pueden referir a edad, sexo, grado de educación, religión y otros (Badii & Castillo, 2007).
- 9. Testigo (control).** Es un tratamiento que se compara. Si a varios grupos de alumnos se les administran una nueva técnica de enseñanza, pero no a

un grupo testigo (control), el análisis estadístico dará información acerca del aumento del aprendizaje de los estudiantes que recibieron la técnica nueva comparados con los que no la recibieron.

10. Repetición. Cuando en un experimento se tiene un conjunto de tratamientos para poder estimar el error experimental, es necesario que dichos tratamientos aparezcan más de una vez en el experimento, para así aumentar la precisión de éste, controlar el error experimental y disminuir la desviación estándar de la media. Por tanto, repetición es el número de veces que un tratamiento aparece en el experimento (Padrón Corral, 1996, Badii et al., 2004, Badii & Castillo, 2007).

11. La variable. Una característica medible de la unidad experimental. No todas las características de las unidades experimentales se pueden medir con la misma variable y por ende, hay varias escalas de variables.

11.1 La escala nominal. Se trata de nombrar las unidades experimentales y sirve para ver si dos unidades experimentales son iguales o no.

11.2 La escala ordinal. Se trata de organizar las unidades experimentales en orden de magnitud, entonces, aquí no solamente se define si existe igualdad entre las unidades experimentales, sino también, qué relación en término de magnitud tienen la una con la otra.

11.3 La escala razón. Esta escala se utiliza cuando existen dos rasgos siguientes. **1.** Entre dos valores adyacentes de la variable hay una distancia constante, **2.** Existe un cero verdadero. Un ejemplo de la escala razón sería el número de las hojas de una planta o el número de los descendientes de un organismo.

11.4 La escala intervalo. En comparación con la escala anterior, en esta escala existen los siguientes rasgos. **1.** Entre dos valores adyacentes de la variable hay una distancia constante. **2.** No existe un cero verdadero. Un ejemplo de la escala razón sería la hora (el cero es la 12 de media noche seleccionada en base a un convenio) o la temperatura en grados Celsius, en donde el cero esta basado en el congelamiento del agua que también su origen esta en base a un convenio. Cabe mencionar que se puede usar la escala nominal u ordinal en lugar de las dos escalas de razón o intervalo, sin embargo, al hacer esto, se pierde información ya que las dos primeras escalas miden las variables en forma más aproximada en lugar de manera

precisa. Cada uno de las dos escalas de razón e intervalo pueden presentarse en las dos formas siguientes.

11.5 La escala discreta. En este caso, entre dos valores adyacentes de la variable solamente puede ocurrir un solo valor íntegro, un ejemplo sería el caso de los dedos del hombre, el número de las plantas, etc.

11.6 La escala continua. En este caso, entre dos valores adyacentes de la variable puede ocurrir un infinito número de valores, un ejemplo sería el caso de la altura o el peso de los objetos. Aquí lo que determina la cantidad de los valores posibles será la precisión del instrumento que se utiliza para la medición de la variable.

12. La población. Un conjunto *total* de las observaciones o mediciones o individuos que uno desea estudiar.

13. La muestra. Es un segmento (por definición pequeño) tomada de la población basado en ciertos criterios, para poder representar la población.

14. El parámetro. Es la variable de la población.

15. La estimación o la estadística. Es la variable de la muestra.

16. Rasgos de una buena estimación. **1.** No tener *sesgo*, donde el sesgo significa la diferencia entre el parámetro y la estimación. **2.** Tener alto grado de *precisión*, donde la precisión indica el grado de la similitud o la cercanía entre varias estimaciones derivadas de diferentes muestras tomadas de la misma población. La precisión se mide por medio de la varianza o desviación estándar o el error estándar de la muestra. **3.** Poseer alto nivel de *exactitud*, donde la exactitud significa la diferencia estandarizada entre una observación y el parámetro y se la mide por medio del cuadrado medio del término de residual o error experimental.

17. El estimador. Una expresión matemática que nos permite cuantificar la estimación.

18. El modelo. Es un conjunto de supuestos acerca del proceso que se esta estudiando. Un modelo es una abstracción del mundo real. Se usa el modelo para reflejar y por ende predecir el mundo y se mide el poder de un modelo en base al grado de la cercanía con lo manifiesto en el mundo real.

19. El error experimental. Dos unidades experimentales en el mundo naturalo social (seres vivos, conceptos sociales, psicológicos, etc.) nunca son exactamente (100%) lo mismos. Esta diferencia se debe a dos factores: **a.** elementos genéticos, y **b.** elementos ambientales. Aún cuando estas unidades sean dos hermanos gemelos siempre surge diferencia debido al

factor ambiental. A esta diferencia innata que existe entre las unidades experimentales se le denominan el error experimental o la variabilidad desconocida.

20. Tipos de errores. Existen dos tipos de errores. **a.** Error tipo I (α) que significa el rechazar una hipótesis correcta. **b.** Error tipo II (β) significa apoyar una hipótesis falsa. Cuando se efectúa una prueba de hipótesis, puede acontecer uno de los siguientes errores (Badii et al., 2004).

Decisión	Hipótesis	
	Cierto	Falso
Rechazar	C1 Error tipo I (α)	C2 No error (poder estadístico)
Aceptar	C3 No error (intervalo de confianza)	C4 Error tipo II (β)

Es lógico pensar que si se encuentra en la segundo (C2) o en la tercera (C3) celda estará en lo correcto, pero si se está en la primera (C1) o la cuarta (C4) celda estará en error. Al caso 1 comúnmente se le conoce como Error tipo I, y la probabilidad de su ocurrencia, denotada por α , generalmente es fijada por el investigador, en base a su experiencia o a los antecedentes que existan al respecto en su investigación. El caso 4 o Error tipo II, cuya probabilidad es denotada por β no puede fijarse directamente por el investigador, pero puede reducirla disminuyendo el llamado error experimental al evitar manejos inadecuados y diferentes entre las unidades experimentales, además de que dicho error β está en función del tamaño de la muestra y del valor de α , para cada juego de hipótesis que se deseen probar. A la probabilidad de encontrarse en la tercera celda de los cuatro, se le denomina *confianza de la prueba*, y es igual a $1 - \alpha$, y a la probabilidad de estar en la segunda celda se le conoce como la potencia o el *poder de la prueba*, y es igual a $1 - \beta$ y que normalmente, se fija a 0.10. En toda prueba se puede y se debe fijar de antemano la confianza que se exige, antes de ver los datos, para no preenjuiciarse. Los niveles convencionalmente más utilizados de confianza son el 0.95 y 0.99, aunque en realidad no debe de tomarse esto como una regla fija y necesaria, ya que el investigador debe estar siempre libre de presiones y utilizar mejor su criterio, su experiencia personal y la experiencia de otros investigadores que hayan llevado a cabo trabajos relacionados con el área específica de investigación (Badii et al., 2004).

21. El diseño experimental (D. exp.). Es un esquema para realizar un experimento. Los objetivos de un diseño experimental son los siguientes. **1.** Verificar si la diferencia entre los tratamientos es una diferencia verdadera o se debe a un proceso al azar, **2.** Establecer tendencias entre las variables. D. exp. es el procedimiento que se sigue para asignar los tratamientos a las unidades experimentales. En un método aleatorio (asignación al azar), se asigna el tratamiento a cada unidad experimental mediante un sorteo o por medio de una tabla de números aleatorios (Badii et al., 2007a). Existen diferentes tipos de diseños experimentales basados en algunas características. En la Tabla 1 se mencionan dos tipos clásicos de diseños experimentales.

22. Rasgos universales del diseño experimental. **1.** La selección aleatoria de las unidades experimentales. Esto evita el sesgo del muestreo. **2.** El número de las repeticiones: Esto permite la cuantificación del error experimental. **3.** El control local de las condiciones. Esto ayuda a la reducción del error experimental. Cabe mencionar que todos los diseños experimentales deben poseer estos tres rasgos.

23. Bloque. Es un conjunto de unidades experimentales lo más homogéneas posibles, en el cual aparecen todos los tratamientos una sola vez; dicho bloque se debe colocar perpendicular al gradiente para tratar de minimizar el error existente y desubierta (Morris, 1999, Badii et al., 2007a).

24. La ciencia estadística. Se trata de evaluar la validez probabilística de los eventos, sujetos, procesos o fenómenos. Para poder realizar esta misión, la ciencia estadística consta de dos etapas. **1.** La estadística descriptiva (deductiva): se trata de: **a.** coleccionar o muestrar datos, **b.** organizar los datos de una forma por ejemplo, ascendente o descendente, y **c.** presentar los datos en tablas, figuras, etc. Hasta este punto todo lo que hace la estadística es describir o deducir el mundo bajo estudio. **2.** La estadística inferencial (inductiva): incluye: **a.** análisis (hacer estimación) y validación de los resultados, **b.** interpretación de los resultados, es decir, dar significado real a los datos analizados, y **c.** publicar los resultados (Badii et al., 2004). Es obvio que esta etapa de la ciencia de estadística nos lleva hacia la toma de decisión y conclusiones o inducción.

Tabla 1. Diseños experimentales de uso común (Badii et al., 2004).

Nombre del diseño	Rasgos	Ventajas	Eficiencia
Diseño Completamente al azar (Badii et al., 2007b)	Un factor y cero gradiente de variabilidad	1. fácil de diseñar 2. fácil de analizar 3. diferentes # de repeticiones 4. máximo g.l. para el error	100%
Diseño de Bloques al azar (Badii et al., 2007a)	Un factor y un gradiente de variabilidad	1. reduce la varianza de error 2. fácil de analizar 3. más flexibilidad 4. más precisión	167%
Diseño de Cuadro Latino (Badii et al., 2007a)	Un factor y 2 gradientes de variabilidad	1. reduce la varianza de error 2. fácil de analizar 3. más flexibilidad 4. más precisión	222%
(a) Diseño factorial: asignación al azar de unidades experimentales (b) Parcelas divididas: sin asignación al azar de las unidades experimentales (Badii et al., 2007a)	Más de un factor y diferentes niveles para cada factor	1. más económico 2. medir las interacciones	288%
Diseños multivariados (alto número de variables, Badii et al., 2004)			
1. Análisis de Componentes Principales	1. Provee ordenación y el perfil jerárquica		
2. Análisis Factor	1. Reducir el número de las variables para el análisis		
3. Análisis Discriminante (Badii et al., 2007d)	1. Agrupar en base a la diferencia 2. Más riguroso con los supuestos de la normalidad		
4. Análisis Cluster (Badii et al., 2007c)	1. Agrupar en base a la similitud 2. Más robusto con los supuestos de la normalidad		
5. LISREL (Linear Structured Relationship) (Rositas et al., 2007), EQ, AMOS, PLS Graph, SMART PLS	1. Busca linealizar las interrelaciones entre las variables 2. Intercambia las variables independientes a las dependientes y vice versa		
6. Correlación Canónica	1. Interrelación entre gran número de variables		

24.1 Estadística descriptiva (deductiva): La estadística descriptiva analiza cualquier tratamiento de datos numéricos que encierre generalizaciones; además, agrupa todas aquellas técnicas asociadas con el tratamiento o procesamiento de conjuntos de datos y su

objetivo es caracterizar conjuntos de datos numéricos para poner de manifiesto las propiedades de estos conjuntos lo cual se puede lograr de forma gráfica o analítica. La estadística descriptiva se ocupa de recoger, ordenar y clasificar los datos de interés mediante su obtención y análisis en una muestra de la población considerada. La primera operación consiste en la compilación de datos, que supone la realización de observaciones y mediciones o, en ciertos casos, de encuestas. Una vez recogidos, los datos deben ser elaborados, de tal modo que sea cómodo trabajar con ellos (Badii et al., 2004). Sin embargo, para entender la estadística descriptiva es necesario conocer algunos términos y conceptos básicos relacionados con esta rama de la ciencia estadística.

24.2. Población. Es cualquier grupo completo, ya sea de personas, animales o cosas. Es la totalidad de elementos o cosas bajo consideración. La población se refiere a un grupo finito de elementos. Elementos de una población: son las unidades individuales que constituyen o conforman una población.

24.3. Muestra. Es una porción de la población que se selecciona para fines de análisis, siempre debe de ser representativa de la población (Badii et al., 2000a).

24.4. Parámetro. Es una medida de resumen que se calcula con el propósito de describir alguna característica de la población.

24.5. Estadísticas o estimaciones. Son medidas de resumen que se calculan con el propósito de describir algunas características de una muestra (Ostle, 1986, Badii et al., 2004).

25. Datos estadísticos. Los datos estadísticos han sido generalmente usados por los gobiernos organizados como forma de ayudar a la toma de decisiones en la administración del estado. Los datos estadísticos son concisos, específicos y capaces de ser analizados objetivamente por diferentes procedimientos. En función de sus características, los datos se clasifican en cuantitativos y cualitativos; siendo los cuantitativos la base fundamental de estudio de la estadística. El uso de la computadora ha hecho posible que los gobiernos, las empresas y otras organizaciones almacenen y procesen grandes cantidades de datos.

Se obtienen mediante un proceso que incluye la observación de conceptos, como, calificaciones de exámenes, ingresos anuales de una ciudad, temperatura diaria durante todo el año de una comunidad, velocidad

de circulación de los vehículos por una autopista, etc. Estos conceptos reciben el nombre de variables, ya que producen una serie de valores que tienden a mostrar cierto grado de variabilidad, al realizarse un conjunto de mediciones de manera sucesiva (Spiegel, 1991, Badii et al., 2004). A continuación se presentan diferentes tipos de datos estadísticos.

25.1. Los datos de características cuantitativas. Son aquellos que se pueden expresar numéricamente y se obtienen a través de mediciones y conteos. Un dato cuantitativo se puede encontrar en cualquier disciplina; psicología, contabilidad, economía, publicidad, etc. Los datos de características cuantitativas se clasifican de siguiente manera.

Variables continuas. Es cuando los datos estadísticos se generan a través de un proceso de medición se dice que estos son datos continuos; son aquellas que aceptan valores en cualquier punto fraccionario de un determinado intervalo, o sea, que aceptan fraccionamiento en un determinado intervalo.

Variables discretas. Se generan a través de un proceso de conteo. Son aquellas que no aceptan valores en puntos fraccionarios dentro de un determinado intervalo.

25.2. Datos de características cualitativas. Los datos de características cualitativas son aquellos que no se pueden expresar numéricamente. Estos datos se deben convertir a valores numéricos antes de que se trabaje con ellos. Los datos de características cualitativas se clasifican de la siguiente forma.

Datos nominales. Comprenden categorías, como el sexo, carrera de estudio, material de los pisos, calificaciones, etc. Las características mencionadas no son numéricas por su naturaleza, pero cuando se aplican, ya sea en una población o una muestra, es posible asignar a cada elemento una categoría y contar el número que corresponde a cada elemento. De esta manera estas características se convierten en numéricas.

Datos jerarquizados. Es un tipo de datos de características cualitativas que se refiere a las evaluaciones subjetivas cuando los conceptos se jerarquizan según la preferencia o logro. Las posiciones de una competencia de atletismo se

jerarquizan en primer lugar, segundo lugar, tercer lugar, etc. Tanto los datos nominales como los jerarquizados, que por su naturaleza no son numéricas, se convierten en datos discretos (Badii y Castillo, 2007, Infante Gil y Zárata de Lara 2000).

26. Distribución de frecuencias. Cuando se dispone de una gran masa o cantidad de datos a veces resulta muy difícil responder a ciertos cuestionarios que sobre una determinada variable se nos hagan. Existe una forma en estadística de organizar las informaciones que nos permite responder a este y otros cuestionamientos. A esta forma de organizar las informaciones se le llama distribución de frecuencias y consiste en el ordenamiento de los datos a través de clases y frecuencias. Cuando los datos se presentan en una distribución de frecuencias se les denomina datos agrupados. Cuando todos los datos observados de una variable se enumeran en forma desorganizada le vamos a denominar datos no agrupados.

26.1. Frecuencia simple. Al construir una distribución de frecuencias, se tienen diferentes intervalos de valores que denominaremos clases. Se define frecuencia simple de clase al número de veces que se repite cada clase. Se le identifica como f_i , donde (f) se lee como frecuencia, e (i) define el orden de las clases.

26.2. Frecuencia relativa simple. Es la suma total de las frecuencias simple de clase le llamamos n ; cuando cada valor de la frecuencia simple de clase se divide entre el total de casos u observaciones a este cociente le denominamos frecuencia relativa simple. La suma de la frecuencia relativa simple siempre será igual a la unidad. Se identifica la frecuencia relativa simple como f_r .

26.3. Frecuencia acumulada. La suma de la frecuencia simple de clase es denominada como frecuencia acumulada. Al calcular la frecuencia acumulada en una distribución de frecuencia acumulada de la primera clase será igual a la frecuencia simple de la misma clase. La segunda acumulada es igual a la primera acumulada más la frecuencia simple de la segunda clase. El valor de la última frecuencia acumulada es igual al total de datos. La frecuencia acumulada se identifica como F_i .

26.4 Frecuencia relativa acumulada. Es el cociente que se obtiene al dividir cada frecuencia acumulada entre el total de observaciones. O la suma sucesiva de la frecuencia relativa simple.

26.5. Rango. En una distribución u ordenamiento de datos existe una diversidad de valores que varían de menor a mayor y viceversa. Se denomina recorrido o rango a la diferencia existente entre el valor máximo observado y el mínimo en una distribución u ordenamiento.

26.6. Intervalo de clase. Una clase esta definida por un límite inferior y un límite superior. A la diferencia entre el límite superior y el límite inferior de una clase se la llama intervalo de clase. Este indica el recorrido o rango de los valores incluidos en una clase.

26.7. Punto medio de clase. Para fines de análisis de datos, los valores de las clases se representan a través del punto medio de clase o marca de clase. El punto medio de clase se define como la semisuma de los límites de clase. El punto medio de clase se identifica como X_i , donde $X_i = \frac{1}{2} (\text{límite superior} + \text{límite inferior})$. En lo referente al punto medio de cada clase, este es usado para representar mediante un solo valor el recorrido de cada clase y sirve además para los fines de análisis estadísticos de los datos. Es importante señalar con relación a la construcción de una distribución de frecuencias que el lector o usuario tenía plena libertad en la elección del intervalo de clase, en función de la naturaleza de los datos y su conveniencia técnica (Infante Gil y Zárate de Lara, 2000).

27. Presentación de los datos. La presentación de datos estadísticos constituye en sus diferentes modalidades uno de los aspectos de más uso en la estadística Descriptiva. Por ejemplo, se puede visualizar a través de los diferentes medios escritos y televisivos de comunicación masiva la presentación de los datos estadísticos sobre el comportamiento de las principales variables económicas y sociales, nacionales e internacionales. Existen tres formas diferentes de presentar los datos estadísticos.

27.1. Presentación escrita. Esta forma de presentación de informaciones se usa cuando una serie de datos incluye pocos valores, por lo cual resulta mas apropiada la palabra escrita como forma de escribir el comportamiento de los datos; mediante la forma escrita, se resalta la importancia de las informaciones principales.

27.2. Presentación en los cuadros o tablas. Cuando los datos estadísticos se presentan a través de un conjunto de filas y de columnas que responden a un ordenamiento lógico; es de gran peso e importancia para el uso y para el usuario ya que constituye la forma

más exacta de presentar las informaciones. Una tabla consta de varias partes, las principales son las siguientes.

- a. **Título.** Es la parte más importante del cuadro y sirve para describir todo el contenido de este.
- b. **Subtítulos.** Son los diferentes encabezados que se colocan en la parte superior de cada columna.
- c. **Columna matriz.** Es la columna principal del cuadro.
- d. **Texto.** El texto contiene todas las informaciones numéricas que aparecen en la tabla.
- e. **Referencia (fuente).** La fuente de los datos contenidos en la tabla indica la procedencia de estos.

27.3. Presentación gráfica. Proporciona al lector o usuario mayor rapidez en la comprensión de los datos, una grafica es una expresión artística usada para representar un conjunto de datos. De acuerdo al tipo de variable que vamos a representar, las principales graficas son las siguientes:

- a. **Histograma.** Es un conjunto de barras o rectángulos unidos uno de otro, en razón de que lo utilizamos para representar variables continuas.
- b. **Polígono de frecuencias (la curva).** Esta grafica se usa para representar los datos continuos y para indicar los puntos medios de clase en una distribución de frecuencias.
- c. **Gráfica de barras.** Es un conjunto de rectángulos o barras separadas una de la otra, en razón de que se usa para representar variables discretas; las barras deben ser de igual base o ancho y separadas a igual distancia. Pueden disponerse en forma vertical y horizontal.
- d. **Gráfica lineal.** Son usadas principalmente para representar datos clasificados por cantidad o tiempo; o sea, se usan para representar series de tiempo o cronológicas.
- e. **Gráfica de barra 100% y gráfica circular.** Se usan especialmente para representar las partes en que se divide una cantidad total.
- f. **La ojiva.** Esta grafica consiste en la representación de las frecuencias acumuladas de una distribución de frecuencias. Puede construirse de dos maneras diferentes; sobre la base “menor que” o sobre la base “mayor que”. Puede determinar

el valor de la mediana de la distribución (Infante Gil y Zárate de Lara, 2000).

28. Medidas de tendencia central. Un promedio es un valor típico o representativo de un conjunto de datos. Como tales valores suelen situarse hacia el centro del conjunto de datos ordenados por magnitud, los promedios se conocen como medidas de tendencia central.

28.1. Media Aritmética simple (m). Es la medida de tendencia central más común, y se define como un conjunto de n números x_1, x_2, \dots, x_n y se denota por m , n es el tamaño del conjunto de datos. Se la define por:

$$m = \sum X_i / n$$

Por ejemplo la media aritmética de 1, 2, 3, es 2.

28.2. Media Aritmética Ponderada (m_p). Es cuando los números de un conjunto de datos (x_1, x_2, \dots, x_k) son asociados con ciertos factores como w_1, w_2, \dots, w_j y se calcula como siguiente.

$$m_p = (\sum X_i W_j) / \sum W_j$$

28.3. Media geométrica (m_g). Se usa para estimar el promedio de la tasa del cambio de cualquier ítem. Su ecuación es, $m_g = (\prod X_i)^{1/n}$, donde m_g es la media geométrica, X_i es el "íesima" valor de la variable, n es el tamaño de la muestra, y \prod es el producto de los valores de X_i .

28.4. Media armónica (m_a). Tiene el mismo uso que la media geométrica, y su ecuación es, $m_a = 1 / \sum (1/X_i) / n$, donde, m_a es la media armónica, X_i es el "íesima" valor de la variable y n es el tamaño de la medida.

28.5. Mediana (M_d). Es la medida central (punto central) de un conjunto de números ordenados y se calcula como sigue. **1.** Para un conjunto de números impares: $M_d = X_{(n+1)/2}$. **2.** Para datos pares: $M_d = \{X_{i(n/2)} + X_{i(n/2) + 1}\}$.

28.6. Moda (M_o). Es el valor que ocurre con mayor frecuencia de un conjunto de números (datos no agrupados). La moda puede no existir o ser única en caso de existir (Foroughbakhch & Badii, 2005).

29. Medidas de dispersión, distribución o variabilidad. La dispersión o variación de los datos intenta dar una idea de que tan espaciados se encuentran éstos. Ejemplos son: rango, varianza, desviación típica o estándar, coeficiente de variación, variación relativa o el grado de confiabilidad y la precisión.

29.1. Rango (R). Es una estimación cruda de la dispersión y se cuantifica por medio de la siguiente ecuación, $R = \text{valor máximo} - \text{valor mínimo}$.

29.2. Varianza ($V=S^2=\sigma^2$). La varianza muestra el grado de homogeneidad o heterogeneidad de una población o muestras provenientes de ella. Muestra que tan dispersos están los datos de la media (a mayor dispersión o varianza de los datos, menor será el grado de homogeneidad). Si es de la población se representa por σ^2 (Sigma) y si es de la muestra S^2 . Se la calcula como sigue: $V= \sigma^2 = S^2 = SC/gl =$

$[\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2/n] / n-1$, donde $(\sum X_i)^2/n = \text{Factor de Corrección (FC)}$

29.3. Desviación estándar ($V=S=\sigma$). La desviación estándar o típica está íntimamente relacionada con la varianza y representa la raíz cuadrada de la misma, y se expresa como S o DS (para la muestra) y σ para la población. Los datos que resultan del cálculo de la varianza están en valores al cuadrado y por esto se usa la raíz cuadrada de la varianza para quitar este efecto de cuadrado. Se la calcula como sigue:

$$DS = S = \sigma = V^{-1/2}$$

29.4. Error estándar (EE). Se utiliza cuando se tiene que comparar el grado de dispersión entre dos o más muestras. $EE = (V/n)^{-1/2}$, donde, V es la varianza y n es el tamaño de la muestra.

29.5. Coeficiente de variación (CV). Se expresa como porcentaje, por lo que el CV es una dispersión relativa (%). Se puede usarlo para comparar dispersiones que son diferentes uno de otro por la categoría o por la magnitud diferencial muy marcada. Se lo calcula así (Spiegel, 1991).

$$CV = \sigma / m$$

29.6. Variación relativa (VR). Se usa para cuantificar el grado de la

confiabilidad de una muestra. $VR = EE/m$, donde EE es el error estándar y m es la media. Además, se mide la precisión (P) de la muestra vía la siguiente fórmula, $P = 1 - VR$.

30. Estadística Inferencial (inductiva). Desde el momento en que hacemos generalizaciones, predicciones, estimados o generalmente, decisiones en relación con la incertidumbre estamos en el dominio de la estadística inductiva, y en ella se agrupan aquellas técnicas que permiten la toma de decisiones mediante las conclusiones a que se arriben cuando se analizan características numéricas del fenómeno en estudio. Ya sea porque se dispone de información incompleta, o debido a la variabilidad presente en la naturaleza, es frecuente que arribemos a conclusiones por medio del método inductivo, en el cual las mismas son inciertas. El conjunto de técnicas que nos permiten hacer inducciones en las que el grado de incertidumbre es cuantificable, integran la rama de la estadística conocida como Inferencia estadística o estadística inductiva (Snedecor & Cochran. 1981, Badii et al., 2004, Badii & Castillo, 2007).

Al obtener el promedio de dos estudiantes en tres asignaturas, estamos en la estadística descriptiva, seguimos reglas aritméticas simples en el cálculo de los promedios, los cuales son verdaderamente descriptivos de los grupos de datos. Si ahora se concluye sobre la base de los promedios que un estudiante es mejor estamos haciendo una generalización, una referencia estadística y nos encontramos en el dominio de la estadística inductiva. La evaluación, el análisis el control cuidadoso de los riesgos que hay que tomar cuando hacemos tales generalizaciones (o decisiones) es una de las principales tareas de la estadística inductiva. La estadística inductiva se ocupa del problema de establecer previsiones y conclusiones generales relativas a una población a partir de los datos muestrales disponibles y del cálculo de probabilidades.

Un importante método de inferencia estadística es el análisis de varianza, mediante el cual se trata de establecer y comprobar conclusiones relativas a varias poblaciones normales por medio del análisis de la variación de los datos en un grupo y en conjunto.

El estudio de la eventual correlación entre variables aleatorias constituye el objeto del análisis de la covarianza, mientras que el análisis factorial estudia fenómenos en los que las variables aleatorias dependen de ciertos factores. Se utiliza entonces un modelo lineal que exprese las

variables en función de los coeficientes de correlación de las variables (Steel & Torrie, 1986, Badii et al., 2007e).

31. Pruebas de comparación de estimadores. Estas pruebas son de tipo paramétrico, pues se basan en la comparación de valores de los estimadores de parámetros. Principalmente se refieren a los parámetros media y varianza, por lo que se pueden clasificar en las siguientes clases.

31.1. Pruebas de comparación de medias. En este caso, lo que se desea investigar es si los promedios de las muestras sometidas a diferentes métodos o tratamientos (distintos niveles de algún factor de variación), manifiestan diferencias significativas, es decir, si los intervalos de confianza de los valores paramétricos estimados no se traslapan. Cuando sólo se tienen dos niveles, lo común es realizar una prueba de t , y si se tienen más de dos tratamientos, realizar una prueba de F , mediante la técnica conocida como análisis de varianza (ANOVA), por lo que podemos clasificarlas de manera siguiente. **1.** Prueba de t para una muestra. **2.** Prueba de t para datos apareados o de comparación de dos muestras relacionadas. **3.** Prueba de t para comparar dos muestras independientes. **4.** Análisis de varianza para comparar más de dos muestras (Montgomery, 2001, Badii & Castill, 2007).

31.2. Pruebas de comparación de varianzas. En algunas ocasiones puede presentarse el caso de necesitar comprobar la varianza de una población o si dos variables o dos poblaciones tienen la misma varianza, por lo que se procederá a muestrearlas, calcular sus estimadores y comprobar si estiman a un mismo valor paramétrico. Esto puede realizarse basándose en las distribuciones X^2 y F . **1.** Prueba de X^2 para la varianza de una muestra. **2.** Prueba de homogeneidad de varianzas (para la varianza de dos muestras). En todos los casos de prueba de hipótesis, como es lógico, el primer paso para efectuar el análisis de los datos será el planteamiento de las hipótesis a probar, en segundo lugar, fijar el nivel de error que se está dispuesto a tolerar, y para el caso de las pruebas paramétricas, definir el modelo estadístico y sus supuestas mínimas, posteriormente, ordenar los datos en tablas de concentración, efectuar los cálculos necesarios y concluir definiendo la hipótesis que se aceptará. Como nota adicional, conviene aclarar que cuando se tienen dos tratamientos, también se pueden analizar mediante un

análisis de varianza, pero dicha prueba tiene la misma confianza que una prueba de t , y ésta es más sencilla, por lo que comúnmente sólo se utiliza para los datos en que se tengan experimentos con más de dos tratamientos (Montgomery, 2001, Foroughbakhch & Badii, 2005).

32. Hipótesis. Todas las pruebas están basadas en la nulidad de las diferencias, es decir que las diferencias se deben a la noción aleatoria, por lo que a esta posible hipótesis se le conoce como hipótesis nula, denotada por H_0 y contra esta hipótesis sólo existe una alternativa, es decir, que las diferencias no sean nulas (sino debido a la relación causa-efecto), por lo que siempre existirá otra hipótesis, la hipótesis alternativa, denotada por H_A , que será la alternativa a la H_0 . Esta última puede definir el sentido de la diferencia o no definirlo, llamándoseles alternativas de un lado o de dos lados, respectivamente (Badii, 1989, Badii et al., 2000b, Rositas et al., 2006).

33. Experimentación. Así como existen en laboratorio pruebas in vivo y pruebas in vitro, en la investigación se puede pensar en pruebas de mera observación de la naturaleza, sin intervención modificadora del investigador, las cuales se pueden llevar a cabo mediante encuestas, que podrán ser más o menos complicadas, en función de las características propias de la población, de los recursos humanos, físicos y económicos y de los objetivos de las mismas; el otro tipo de pruebas es aquél en el que el investigador controla uno o más factores de variación con el objeto de observar el efecto gradual e inmediato en algunas de las características de la población, denominando a este tipo como experimentación. Dicha experimentación, en las ciencias naturales, sociales, psicológicas, es en la actualidad una de las normas básicas del progreso en la búsqueda de la verdad, y esencialmente se ocupa de la confrontación simultánea y bajo condiciones controladas, de dos o más tratamientos o niveles de uno o más factores de variación, llamándoseles a los experimentos con más de un factor, como experimentos factoriales, en los cuales la distribución o diseño de las unidades experimentales será más complicada. Ejemplos de factores de variación pueden ser las razas, los niveles económicos, los niveles de fertilización, los métodos de manejo, etc., en los cuales los tratamientos serán diferentes niveles de cada factor (Badii et al., 2004).

En toda prueba es indispensable tener claramente definidas a las unidades experimentales, las cuales serán las unidades sobre las cuales se efectuarán las mediciones, no siendo necesario que dichas unidades consten de un solo individuo, pues pueden ser parcelas, colonias en cajas petri,

camadas, , grupos de gentes, etc. Una vez obtenidos los datos de un experimento, se someterán éstos a un análisis estadístico, basado en los conceptos de las leyes de probabilidades y de la teoría estadística, y tomando siempre en el modelo estadístico apropiado.

Independientemente de que al efectuar una prueba de hipótesis puede uno fijar el α (error tipo I) que se desee, convencionalmente, se sigue la costumbre de marcar en la parte superior derecha de la estadística calculada una no significativa (NS) si ésta es menor que el valor teórico al 0.95 ($\alpha = 0.05$) de confianza, con un asterisco si la calculada es mayor o igual a la teórica con $\alpha = 0.05$, y con dos asteriscos si supera al valor teórico al 0.99 de confianza ($\alpha = 0.01$) (Hernández et al., 1998, Badii et al., 2007a).

33.1. Etapas de un experimento. Todo investigador tiene su lista propia de pasos que diseña cuando sigue un experimento. Sin embargo, un experimento diseñado estadísticamente consta de las siguientes etapas. **1.** Enunciado del problema. **2.** Formulación de hipótesis. **3.** Sugerencia del método experimental y del diseño a emplear. **4.** Tener acceso a un acervo bibliográfico de antecedentes que aseguren que el experimento proporcione la información requerida y en la extensión adecuada. **5.** Considerar posibles resultados con los procedimientos estadísticos aplicados, para asegurar las condiciones necesarias para validar los procedimientos empleados. **6.** Ejecutar el experimento. **7.** Aplicar los procedimientos estadísticos a los datos resultantes del experimento. **8.** Validar las conclusiones para la población de objetos o eventos. **9.** Verificar la validez de la investigación completa, particularmente con otras investigaciones del mismo problema o similares (Badii et al., 2004).

33.2. Rasgos de un tópico significativo para la investigación. El grado de la significancia y relevancia del tópico para investigar depende en los siguientes factores. **1.** Que sea un problema real. **2.** Que sea difícil de solucionar. **3.** Que llene vacíos relevantes en la teoría e incluso avanza la teoría. **4.** Que produzca nuevos procedimientos. **5.** Que genere resultados nuevos, importantes y no esperados. (Badii et al., 2004, Rositas et al., 2006).

33.3. Identificación del tópico. Para poder identificar los tópicos relevantes, el investigador debe considerar lo siguiente. **1.** Revisar bien la literatura. **2.** Seleccionar problemas relevantes. **3.** Trabajar con colegas (Badii et al., 2004, Rositas et al., 2006).

33.4. Reducir el grado de error en la investigación científica.

Aparte de la experiencia acumulada de los diferentes investigadores, se han generado varios tips o pistas interesantes en cuanto a la investigación científica. La ciencia avanza a través de la colecta de datos y la comprobación de la validez de los mismos. En otras palabras, la maduración de la ciencia depende en la generación de las hipótesis e el intento de comprobar, es decir confirmar o refutar las mismas. Cabe mencionar que la hipótesis sin datos no es buena, y a la vez, generar datos y acumularlos sin ninguna referencia a una hipótesis es también pérdida de tiempo. Por tanto, hay que tomar datos del mundo real y testarlos. De manera resumida se puede señalar a ocho tips para la investigación. **1.** No debe medir todo lo que se puede. **2.** Buscar un problema y hacer al menos una pregunta. **3.** Colectar datos que van a contestar a la pregunta, de esta manera se hace una buena relación con la estadística. **4.** algunas preguntas no tienen respuesta todavía. **5.** Nunca reportar una estimación estadística sin alguna medida de error. **6.** Ser escéptico sobre resultados de las pruebas estadísticas en rechazar “Ho” o la hipótesis nula. El mundo no es solamente blanco o negro, sino hay mucha sombra de gris. **7.** No confundir la diferencia estadística con la diferencia verdadera, es decir, un “Ho” de *no diferencia* es irrelevante por ejemplo, en la ecología, esto se debe a los dos puntos siguientes. **7.1.** Si se trata de dos poblaciones o comunidades, cada población por el hecho de haber sido denominado o considerado como tal, es biológicamente y evolutivamente distinta de la otra. **7.2.** Demostrar una diferencia estadística en este caso, es irrelevante y evita las siguientes preguntas reales. **7.2.1.** ¿Qué tan diferente son las dos poblaciones o comunidades? **7.2.2.** ¿Esta diferencia es suficiente grande para tener una diferencia verdadera? **8.** Ingresa basura, egresa basura. Hay que tomar en cuenta que los modelos matemáticos y estadísticos e incluso la computadora son instrumentos de apoyo y todavía dependen de la inteligencia de nosotros para manejarlos, por tanto, de nosotros depende qué tipo de información vamos a poner al alcanza de estas herramientas (Badii et al., 2004).

El modelo de **ECOEE**

Para ejemplificar la manera de cómo generar y usar hipótesis en el mundo natural, Bernstein & Goldfarb (1995) descubrieron un método conceptual denominado **ECOEE** (**ECOSSET** en Inglés) que permite representar los puntos de vistas de los diferentes científicos o los marcos de referencias y de este modo hacer explícitas las nociones implícitas de los científicos que tradicionalmente causaban confusión en término del diseño e la interpretación de los estudios y la relevancia de los mecanismos involucrados.

El modelo de **ECOEE** consta de seis conceptos claves que van de lo más explícito a lo más implícito. A pesar de que los investigadores presentan las hipótesis de manera muy explícita, los supuestos que forman las bases de estas hipótesis raramente son claros. Estos conceptos reflejan nuestro supuesto que el observador (inevitablemente parte del sistema) percibe del contexto del marco de referencia lo que a su vez está basado en los supuestos.

En la Tabla 2 se definen cada uno de estos seis conceptos claves de **ECOEE**. A parte de los seis conceptos, el modelo **ECOEE** cuenta con cinco parámetros provenientes de las cinco letras del nombre del modelo: **E** para el **Efecto**, **C** para el **Componente**, **O** para la **Operación**, **E** para la **Evidencia** y de nuevo **E** para la **Escala** del espacio y el tiempo.

Se puede observar en la Tabla 3, cada uno de estos cinco parámetros, sus descripciones y unos ejemplos para clarificar la noción del modelo **ECOEE**. En proponer el concepto de **ECOEE**, la idea es el avanzar y clarificar las tres siguientes actividades. **1.** Identificar el marco conceptual sobre el cual está basado la descripción de la naturaleza como una herramienta para comparar e evaluar los estudios. **2.** Determinar qué tan general es la descripción de la naturaleza por medio de la definición del rango válido de los parámetros de **ECOEE**. **3.** Generar varias descripciones alternativas de los sistemas de naturalezas, en lugar de los pares dicotómicos.

Se puede concluir que el marco de referencia nos guía hacia una descripción de la naturaleza que a su vez genera un contexto para una (o varias) hipótesis específicas. El uso del modelo **ECOEE** tiene aplicaciones prácticas y produce resultados tangibles. Para un científico, este modelo provee una manera de hacer una introspección efectiva e identificar,

examinar y descubrir alternativas para los supuestos previamente escondidos. Cuando dos estudios del mismo tema producen resultados contrarios, al examinar sus respectivos parámetros de **ECOEE**, podemos descubrir las causas fundamentales de estas discrepancias. De esta manera el modelo de **ECOEE** ayuda a discutir los resultados contradictorios en una forma más sólida y productiva. Finalmente, al variar de manera sistemática, los parámetros de **ECOEE**, se puede generar un conjunto de varias hipótesis alternas en lugar de un para de hipótesis simples y dicotómicas que nos llevan hacia el familiar argumento “sí es” o “no, no es”.

Tenemos que tomar en cuenta varias características de **ECOEE** cuando utilizamos este modelo. Los seis parámetros y los ejemplos de la Tabla 3 son seleccionadas de manera subjetiva de una gama de las posibles alternativas. Estos parámetros e ejemplos no tienen una relevancia inherente y objetiva, sino se derivan de la experiencia de los autores en el área de las ciencias naturales y específicamente la rama de la ecología.

Indudablemente, otros parámetros y ejemplos son posibles y se pueden usarlos en los estudios, ya que el modelo de **ECOEE** es una ayuda para pensar. Por tanto, no existen parámetros correctos a seleccionar, y en realidad, se puede seleccionar otras alternativas y evaluarlas también.

Tabla 2. Los conceptos que forman la base teórica de **ECOEE**.

Concepto	Definición
Hipótesis	Un conjetura específica acerca de qué ocurre en un ambiente específico y de que manera
Ambiente	Una de varias formas alternas de la descripción de la naturaleza
Descripción de la naturaleza	Un definición de los procesos y los límites físicos y conceptuales que determinen el marco de un estudio
Punto de vista	Equivale al marco de referencia tomando en cuenta al observador
Marco de referencia	Un contexto o estructura conceptual que resulta de la interacción y la combinación de los supuestos
Supuestos	Las premisas acerca de los procesos, las reglas de evidencia, etc.

Tabla 3. Los parámetros del modelo de *ECOEE*, sus descripciones y ejemplos.

Parámetro	Descripción	Ejemplos
<i>Efecto</i>	Tipo de causalidad	Lineal, curvilínea, circular: con o sin umbral
Componente	Organismos, actores y rasgos de hábitat	Población, comunidad, ecosistema, instares de vida, rasgos de suelo, tipo de hábitat
Operación	La manera que los componentes se relacionan entre si	Depredación, competencia, parasitismo, dispersión (agregación, uniforme, escape), disturbios ambientales (contaminación, erosión), sedimentación
<i>Evidencia</i>	Tipo de datos validos	Anécdotas, experimentos simulados, experimentos en laboratorio y en campo, descriptivo, modelos, correlaciones, distribución, demografía, observaciones empíricas y de la historia natural
<i>Escala</i>	Espacio y tiempo	Discreto, continuo, gradiente, intervalo

El concepto de pronóstico en la investigación científica

Según Badii et al. (2007e), en la práctica se ha notado que cuando en un individuo, un carácter se presenta en mayor intensidad, otro se afecta en alguna proporción. Ejemplos de esto podrán ser la altura y el peso en ganado, edad y vigor de rebrote en árboles, etc; en el primer ejemplo se puede ver que esta relación es positiva, es decir, al aumentar un carácter, tiende a aumentarse el otro, en cambio, en el segundo ejemplo esta relación es negativa, pues al aumentar la edad, el vigor tiende a disminuir.

Estadísticamente, se puede medir este grado de relación, asociación o dependencia, mediante el índice conocido como coeficiente de regresión, denotado por β para el valor paramétrico, y como b para el estimador muestral. En realidad, gráficamente, el valor del coeficiente de regresión es la pendiente promedio, o la pendiente de la línea de tendencia del comportamiento de ambas características estudiadas (Badii et al., 2007e).

El estudio de estos temas puede hacerse desde el caso más simple (regresión lineal simple) hasta formas muy complicadas, en donde

intervengan en forma lineal o aditiva más de dos factores, e inclusive para formas no lineales. En este caso sólo nos ocuparemos del caso más simple, es decir, aquél en el que sólo intervengan dos caracteres o variables, y en forma lineal. Generalmente, a una de las variables se le denomina como independiente (denotada por X) y a la otra como dependiente (denotada por Y).

Para este caso simple de sólo dos variables, el coeficiente paramétrico de la regresión de Y en función de X , está definido por las siguientes anotaciones. La ecuación de la recta que es: $Y = a + bX$ de un modelo matemático.

La ecuación de la recta que es: $Y_i = \alpha + \beta X_i$ de un modelo estadístico. Donde α representa el intercepto de la recta de regresión con el eje Y ; b o β es la pendiente de la recta de regresión y mide la razón de cambio de Y dado un valor X (Badii et al., 2007e, Infante Gil & Zárate de Luna, 2000). La estimación de los parámetros α y β se lleva a cabo por medio del método de mínimos cuadrados, que consiste en encontrar los valores de α y β que minimizan la suma de cuadrados de los errores. Por lo tanto: $\alpha = \bar{Y} - \beta \bar{X}$, donde $\alpha = a$ y la fórmula de la coeficiente de regresión (β) se presenta en la sección que sigue.

El valor significativo de la coeficiente de la regresión nos indica que tan predictiva puede ser o no una ecuación de regresión. Cuando el valor de r es cercano a uno, significa que la ecuación de regresión es bastante predictiva, lo contrario sucedería si r es cercano a cero. Por tanto la bondad de un modelo de regresión depende en su valor y poder predictivo, es decir, que tan cercana a la realidad llega la predicción dada por la ecuación.

$$b = \frac{\sum X_i Y_i - (\sum X_i \sum Y_i) / n}{(SC_x)^{-1/2}}$$

donde, la SC significa la suma de cuadrados, y los demás anotaciones como antes descritas. La fórmula para calcular el coeficiente de la correlación (r) es.

$$r = \frac{\sum X_i Y_i - (\sum X_i \sum Y_i) / n}{(SC_x SC_y)^{-1/2}}$$

En resumen, cuando el aumento en el valor de X , esta asociada con el aumento en el valor de Y o vice versa, se dice que la correlación es positiva,

en donde la máxima positividad es la unidad, es decir +1. Ahora bien, cuando un valor de X aumenta, y otro valor de Y disminuye y viceversa, a esta relación se denomina la correlación inversa o negativa, en donde la máxima negatividad se presenta con el valor -1. Finalmente, se dice que no hay correlación cuando no se modifica el valor de Y al cambiar la X (Badii & Castillo, 2007, Badii et al., 2007e).

L a diferencia entre los promedios de varios tratamientos (ANOVA)

La técnica estadística conocida con este nombre está basada fundamentalmente en el hecho de que la variabilidad total de una población o conjunto de datos es el resultado de las variabilidades parciales debidas a los factores de variación, y fue inicialmente desarrollada por Fisher (Badii et al., 2007b). En general, esta técnica se basa en un modelo estadístico apropiado a cada experimento, con sus suposiciones ya conocidas, como la independencia entre sus factores, la distribución normal e no sesgada de los errores experimentales, y la homogeneidad de varianzas. La precisión de un ANOVA está en relación directa de la varianza del error experimental, por lo que no se debe de perder de vista que las variaciones inducidas por manejos inadecuados y heterogéneos entre las unidades de una prueba, repercutirán en un incremento de dicha varianza. La exactitud depende fundamentalmente del adecuado control de las demás fuentes de variación ajenas a la que esté en estudio (Badii & Castillo, 2007, Badii et al., 2007a). Cuando en un experimento se desee estudiar más de un factor de variación (experimentos factoriales), con el objeto de estudiar la interacción que exista entre ellos, es muy importante revisar la ortogonalidad entre los diferentes niveles de los factores, es decir, que existan representantes en la misma proporción entre las combinaciones de todos los niveles de cada factor en el estudio, con respecto a los demás niveles existentes. A medida que un experimento se hace más complicado, la elección del diseño más adecuado, en función de las variaciones del medio ambiente, es más complicado (Cochran & Cox, 1992, Badii et al., 2007a). Existen tres diseños básicos (Badii et al., 2007a).

ANOVA original (Diseño de completamente aleatorio)

Este diseño se emplea cuando las condiciones ambientales de la localidad en donde se realizará el experimento son homogéneas (no hay

gradiente de variabilidad), por lo que se espera que las variaciones entre los datos se deban a los tratamientos y al error; y el modelo estadístico, por ejemplo para un tratamiento de un solo factor de estudio será: $Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij}$, donde, μ es la media general, t_i es el efecto del tratamiento i , y e_{ij} es el error experimental al efectuar la i -ésima observación del j -ésimo tratamiento. Los pasos a seguir serán los siguientes (Badii et al., 2007a). **1.** Plantear las siguientes hipótesis: H_0 : no existe diferencia entre las medias de los tratamientos. H_a : Si existe diferencia. **2.** Determinar el nivel de alfa (o el error tipo uno) que uno desea (0.01, 0 0.05). Fije su modelo y sus supuestos (dado con anterioridad). Construya una tabla de ANOVA mediante las siguientes fórmulas (Tabla 4).

Tabla 4. Una tabla típica de ANOVA.

FV	Grados de libertad (gl)	Suma de cuadrados(SC)	Varianza	F observado o calculado (F_c)
Tratamientos (Grupo, Muestra = trat.)	$k - 1$	$(\sum(T_{cg}^2 / n_{rg})) - FC$	SC_{trat} / gl_{trat}	V_{trat} / V_E
Error	$N(k - 1)$	$SC_T - SC_{trat}$	SC_E / gl_E	
Total	$N - 1$	$SX^2 - FC$		

Donde " k " es el número de niveles o tratamientos del factor en estudio, " $N = rt$ " el número total de repeticiones, y " r " es el número de repeticiones por cada tratamiento (este caso es cuando todos los tratamientos tienen el mismo número de repeticiones y de no ser así, las fórmulas varían un poco (Steel & Torrie, 1986, Foroughbakhch & Badii, 2005, Badii et al., 2007a).

" FC " es el factor de corrección que es igual al cuadrado del gran total, dividido entre el número total de unidades experimentales, es decir, entre rt .

Note que todo este cuadro va encaminado a la obtención de la F_c . Encuéntrense las F 's teóricas al 0.05 y al 0.01, con los grados de libertad de tratamientos y del error. Siga el siguiente criterio de decisión: Si $F_c < F_{0.05}$: apoya la H_0 . De otro modo: rechace la H_0 y acepte la H_A .

Se acostumbra marcar NS (no significativo) a la varianza de tratamientos, cuando se acepta la H_0 , y con un asterisco (*) cuando la F_c

supera a la $F_{0.05}$, es decir, que sí hay diferencia significativa entre los tratamientos bajo estudio, en su efecto sobre la variable medida.

Además, si la F_c no sólo supera a la $F_{0.05}$, sino que también supera a la $F_{0.01}$, entonces se acostumbra poner dos asteriscos (**), y se dice que la diferencia es altamente significativa (Padrón Corral, 1996, Badii et al., 2007b, Badii & Castillo, 2007).

ANOVA modificada (Diseño de bloques al azar)

Este diseño es apropiado para el caso en que la localidad experimental presente variaciones en un sentido (un gradiente de variabilidad), y se sospeche que pueden influir en la variable que se va a usar para medir el efecto de los distintos tratamientos. Está restringido a que todos los tratamientos tengan el mismo número de repeticiones, las cuales se acomodan en bloques perpendiculares al sentido de variación, debiendo estar todos los tratamientos representados en todos los bloques, en la misma proporción, esto es, que si son parcelas, todas sean del mismo tamaño, etc. Debido a esta peculiaridad de que las repeticiones están distribuidas por bloques, el diseño permite extraer del llamado error experimental el efecto de bloques (medio ambiente), por lo que su modelo tendrá a éstos como una causa aparte (Badii & Castillo, 2007, Badii et al., 2007a).

Las diferencias con respecto al diseño anterior, estriban fundamentalmente en que también se pueden plantear hipótesis para el medio ambiente; se pueden fijar niveles μ independientes para cada juego de hipótesis; el cuadro de concentración deberá de incluir los totales de los bloques ($Y_{.j}$); y el cuadro de ANOVA deberá de incluir al factor o causa de variación de bloques que tendrá $b - 1$ grados de libertad, su suma de cuadrados será similar a la de tratamientos, sólo que con los totales de los bloques divididos entre k , su varianza se calcula de manera similar, así como su F_c (su varianza dividida entre la del error). El error tendrá $(k - 1)(r - 1)$ grados de libertad (Morris, 1999, Badii et al., 2007a).

ANOVA modofificada (Diseño de Cuadro Latino)

Este diseño se empleará cuando las variaciones se expresan en más de un sentido (Badii et al., 200a), y tiene además la restricción de que el número de tratamientos = número de repeticiones = número de bloques

(además de que todos los tratamientos tengan el mismo número de repeticiones). Básicamente es un doble bloques al azar, llamando hileras a las repeticiones (bloques horizontales) de un sentido, y columnas (bloques verticales) a las del otro. Esto implica que las repeticiones deberán de estar repartidas en todas las hileras y en todas las columnas (Steel & Torrie, 1996, Badii & Castillo, 2007). Su modelo será lo siguiente. $Y_{ijk} = \mu + h_i + c_j + t_k + e_{ijk}$, donde, Y_{ijk} = la variable respuesta de la hilera "i", columna "j" y tratamiento "k", μ = la media general, h_i = el efecto de la hilera i , c_j = el efecto de la columna j , t_k = el efecto del tratamiento k , y e = el error experimental.

En general, en cualquier tipo de diseño, la asignación de las unidades experimentales a la localidad física (terreno, laboratorio, etc., según el caso), deberá de hacerse mediante un sorteo aleatorio, para evitar al máximo sesgos voluntarios (Mead et al., 1993, Badii et al., 2007a).

ANOVA modificada (Diseño factorial)

El adjetivo factorial se refiere a un modelo especial de formar las combinaciones de tratamientos y no a un tipo básico de diseño (Badii et al., 2007a). Así, si un diseño de bloques completamente al azar ha sido seleccionado y las combinaciones de tratamiento son de naturaleza factorial, una expresión más correcta sería un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial (Tabla 5).

Muchos experimentos se llevan a cabo para estudiar los efectos producidos por dos o más factores. Ningún factor se considera extraño; todos tienen el mismo interés.

En el experimento factorial o arreglo factorial, se investigan todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores en cada ensayo completo o réplica del experimento.

El experimento factorial afecta al diseño de tratamientos, que se refiere a la elección de los factores a estudiar, sus niveles y la combinación de ellos.

Se debe tener en cuenta que el diseño de tratamientos es independiente del diseño experimental, que indica la manera en que los tratamientos se aleatorizan en las diferentes unidades experimentales y la forma de controlar la variabilidad natural de las mismas. También vale recalcar que debido a las condiciones particulares de un experimento, a

veces, se necesita asignar los tratamientos a las unidades experimentales de forma al azar, y en otras ocasiones, se requiere el proceso dirigido.

No es usual tener diseños experimentales muy complicados en los experimentos factoriales por la dificultad que involucra el análisis y la interpretación (Hinkelmann & Kempthorne, 1994).

¿Porqué estudiar varios factores de manera simultánea?

1. Encontrar un modelo que describa el comportamiento general del fenómeno en estudio. Por ello son muy usados en experimentos exploratorios.

2. Optimizar la respuesta o variable dependiente; es decir, encontrar la combinación de niveles que optimizan la variable dependiente.

3. La característica general y esencial que hace necesario el estudio conjunto de factores es que el efecto de un factor cambie según sean los niveles de otros factores o sea que exista interacción.

Ventajas

1. Economía en el material experimental ya que se obtiene información sobre varios factores sin incrementar el tamaño del experimento.

2. Permitir el estudio de la interacción, o sea determinar el grado y la forma en la cual se modifica el efecto de un factor por los niveles de otro factor.

Limitaciones

Una desventaja de los experimentos factoriales es que requieren un gran número de tratamientos, especialmente cuando se tienen muchos factores o muchos niveles del mismo factor. Este hecho tiene los siguientes efectos.

1. Si se desea usar bloques completos es difícil encontrar grupos de unidades experimentales homogéneas para aplicar todos los tratamientos.

2. Se aumenta el costo del experimento al tener muchas unidades experimentales; esto se minimiza usando factoriales fraccionados donde se prueba una sola parte de todo el conjunto de tratamientos.
3. Los experimentos Factoriales se pueden ejecutar bajo cualquier tipo de diseño de control de error o un submuestreo o con covariables.

En la continuación y para la simplicidad, sólo se presenta el análisis de un experimento factorial de dos factores bajo un diseño completamente al azar (Hinkelmann & Kempthorne, 1994).

Tabla 5. ANOVA para un análisis factorial con dos factores en un diseño completamente aleatorio.

FV	gl	SC	V	F _{obs. = cal.}
Repetición	r-1	$\sum X^2r/ta - FC$	SCr/ glr	Vr/V_E
Tratamiento	Ta-1	$\sum X^2at/r - FC$	SC_{trat}/ gl_{trat}	V_{tra}/V_E
A	a-1	$\sum X^2a/tr - FC$	SCa/ gla	Va/V_E
B	b-1	$\sum X^2b/tr - FC$	SCb/ glb	Vb/V_E
Ab	(a-1)(b-1)	$SC_{trat} - (SC_a + SC_b)$	SC_{ab}/ gl_{ab}	V_{ab}/V_E
Error Exp. (EE)	Por 1 resta	Por 1 resta	SC_E/ gl_E	
Total	Tr-1	$\sum X^2_i - FC$	----	

ANOVA modificada (Diseño de parcelas divididas)

El diseño de parcelas divididas es un factorial conducido de tal manera que la unidad experimental con respecto a uno o más factores es una subunidad de la unidad experimental con respecto a otros factores (Badii et al., 2007a). La primera parte del diseño corresponde al diseño de completamente al azar, bloques al azar o cuadro latino, y la segunda parte es el arreglo factorial, o sea que la parcela dividida está formada por un arreglo con su respectiva distribución. Los experimentos con parcelas divididas son frecuentemente usados por necesidad cuando un factor debe ser aplicado a una gran unidad experimental, mientras que otros factores son más apropiados aplicarlos a las subunidades. También este diseño es utilizado por la conveniencia o facilidad de aplicar diferentes factores a diferentes unidades con tamaños distintos. El diseño de parcelas divididas también puede ser usado para incrementar la precisión del efecto estimado por la aplicación de un factor a las subunidades (Martínez Garza, 1988, Badii et al., 2007a, Badii & Castillo, 2007).

¿Cómo interpretar las interacciones?

Cuando se estudian dos o más factores simultáneamente, los experimentos factoriales tienen la ventaja de evaluar la contribución debida a la acción conjunta de los factores de estudio (interacción), lo que no sucede en experimentos simples en los cuales se estudia un mismo factor. La interacción se define como la ausencia de paralelismo en el comportamiento de los factores. Esto indica que al no haber interacción, los comportamientos deben ser paralelos. Para entender las interacciones y el comportamiento de los factores, es necesario graficar la variable en estudio, respecto a los tratamientos relativos a una interacción dada (Jaccard, 1998).

Distinguir las medias estadísticamente

Al ejecutar un ANOVA y probar la hipótesis global $H_0 = \mu_1 + \mu_2 \dots \mu_n$ mediante la prueba F , es posible que se presenten algunas de las siguientes situaciones.

No rechazar H_0 . Cuando no se rechaza H_0 parecería que hasta aquí llega el análisis de los datos en cuanto a las comparaciones de tratamientos, pero esto no es cierto debido a que la prueba F hace una comparación simultánea global sobre todos los tratamientos, es posible que este hecho no permita detectar algunas diferencias reales entre estos.

Rechazar H_0 . En este caso el investigador desearía conocer cuáles tratamientos son diferentes y cuales de ellos se comportan de igual manera, pero la prueba F no permite resolver esto porque solamente informa de una manera global que existe diferencia entre todos ellos.

También es posible que el investigador al planear su estudio desee diseñar comparaciones específicas entre tratamientos; esto resulta algunas veces casi imposible cuando se desconoce el comportamiento de los tratamientos como sucede en investigaciones de tipo exploratorio, caso en el cual las comparaciones surgen luego de observar los datos.

En los casos citados anteriormente, la prueba F global no permite dar una solución adecuada, y para alcanzarla, muchos estadísticos han elaborado procedimientos denominados pruebas de comparación múltiple para las medias. A parte se puede utilizar las comparaciones de medias de manera ortogonal. Por teoría estadística se conoce que no todas las

comparaciones entre medias de tratamiento se pueden probar estadísticamente, sólo aquellas denominadas *funciones estimables*. Uno de este tipo de funciones son los llamados contrastes. Un contraste denotado por C se define como una combinación lineal de medias o efectos de tratamientos. Para probar las hipótesis en términos de contrastes se necesita que éstos sean estimados. Los contrastes se pueden estimar de dos maneras: por totales de tratamientos o por medias de tratamientos.

Cuando se conoce muy poco respecto a la naturaleza de los tratamientos y por ello es difícil proponer comparaciones con sentido, entonces se necesitan técnicas para probar efectos de tratamientos pero sugeridas por los datos. Estas técnicas se usan con frecuencia para comparar todos los posibles pares de medias, entre algunas de éstas se encuentran: Diferencia Mínima Significativa (DMS), Bonferroni, t -multivariado, Scheffé, Duncan & Tukey (Hines & Montgomery, 1994, Foroughbakh & Badii, 2005).

Análisis de covarianza

Uno de los objetivos principales del diseño experimental es la reducción del error experimental (Foroughbakh & Badii, 2005). Un importante contribuyente a este error es el error de unidad, medido por σ_{μ}^2 , el cual expresa la heterogeneidad entre las unidades experimentales, la cual puede ser sistemática o aleatoria. Consideremos los siguientes casos de variación sistemática. Un fertilizante tiende a quedar en el suelo después de que fue usado en un ensayo agronómico. Las probetas pueden provenir de diferentes tipos de materiales para un estudio de dureza de una punta lectora.

Las plantas utilizadas para un ensayo de crecimiento pueden tener antes del experimento alturas diferentes. Los animales para un estudio de una dieta pueden tener pesos iniciales diferentes. En un ensayo para evaluar los rendimientos de diferentes variedades de trigo, estas tienen un mejor rendimiento con el aumento de la madurez. Las probetas utilizadas para un ensayo de antioxidante pueden tener antes del experimento una cantidad de óxido inicial diferentes. Las probetas para un estudio de dureza pueden tener concentraciones de cobre diferentes. En los casos de variación sistemática se hace el control de la variabilidad debido al error experimental por medio del control directo, el cual utiliza el conocimiento de las causas de variación y

conlleva a la agrupación de las unidades experimentales en bloques o estratos homogéneos incrementado las condiciones de uniformidad bajo el cual el experimento es ejecutado, e incrementado la precisión de las medidas. Los diseños de control de error utilizados para este propósito son los siguientes. Diseño de bloques completos al azar, diseño de medidas repetidas, diseño de parcelas divididas y diseños de bloques incompletos.

Para la variación aleatoria el método es el control indirecto o estadístico, es posible usar la información adicional o suplementaria bajo ciertas condiciones y así reducir el error experimental. La información adicional proviene de algunas variables que se relacionan con las respuestas, las cuales suelen llamarse covariables. La técnica usada para analizar este tipo de diseños que involucran información adicional o covariables es llamada la técnica de análisis de covarianza (ANCOVA). En esta se combinan conceptos de análisis de varianza y análisis de regresión. Los usos más importantes de ANCOVA son los siguientes. Controlar el error experimental y aumentar la precisión del experimento. Ajustar medias de tratamientos de la variable independiente (γ_i) a las diferencias en conjunto de valores de variables independientes correspondientes (χ_i). Ayudar en la interpretación de datos, especialmente en lo concerniente a la naturaleza de los efectos de tratamientos. Particionar una covarianza total o suma de productos cruzados en componentes. Estimar datos faltantes (Cochran & Cox, 1992). Ahora bien, existen casos donde no hay ajuste de los datos a un patrón normal, en estos casos, el investigador puede escoger uno de las dos vías siguientes. Utilizar métodos estadístico no paramétricos (libre de distribución) o transformar los datos y conducir métodos paramétricos sobre estos datos transformados (Badii et al., 2006, Badii & Castillo, 2007).

Conclusiones

El uso de estadística tiene su origen rustico en los asuntos de los gobiernos y los Estados (de allí la palabra estadística relacionado con el Estado). Esto se debe a la noción de que se tenían que tomar en cuenta las extenciones de los terrenos para su utilización por parte de los agricultores, por ejemplo, y como consecuencia, poder estimar el impuesto que el terrateniente debía pagar al gobierno. Blaise Pascal el matemático Francés, utilizó de manera formal las nociones de probabilidad por vez primera y de

allí en adelante se popularizó el uso de estadística. En forma muy breve, la ciencia estadística se trata de verificar la validez probabilística de todos los eventos, fenómenos, proceso y/o objetos de manera espacio-temporal. Existen solamente dos eventos que son determinísticos, es decir, que ocurren con 100% de exactitud en la vida, estos son, la muerte y el pago de los impuestos. Todos los demás eventos son estocásticos y requieren de la validez estadística. Más sin embargo, puede existir, a parte del uso correcto, también, el mal uso y hasta el abuso de la estadística. Hay que recalcar que la estadística finalmente, es un instrumento y un medio que se utiliza para fines de la deducción (descripción) y/o la inducción (toma de decisión) en el mundo. Se puede apoyar a la toma de decisión sobre asuntos verdaderamente relevante, por ejemplo, en el ámbito político, religiosa, social, económico, a través de las votaciones, los megaproyectos nacionales e internacionales, etc., o puede simplemente mentir con la estadística para proteger los intereses individuales o colectivos. Por tanto, es el deber de cada ciudadano intelectual, a parte del científico crítico, de versarse bien en el mundo y la ciencia de la estadística.

Referencias

- Badii, M.H. 1989. Ciencia y generación de hipótesis. Boletín de División General de Estudios de Postgrado, UANL. 3(31): 1-2.
- Badii, M.H., A.E. Flores, R. Foroughbakhch & H. Quiróz. 2000a. Fundamentos de muestreo. Pp. 129-144. In: Fundamentos y Perspectivas de Control Biológico, M.H. Badii, A.E. Flores y L. J. Galán (eds.), UANL, Monterrey.
- Badii, M.H., A.E. Flores, V. Garza & M. Villa. 2000b. Ética y cultura ambiental. Pp. 403-416. In: Fundamentos y Perspectivas de Control Biológico, M.H. Badii, A.E. Flores y L.J. Galán (eds.), UANL, Monterrey.
- Badii, M.H., A.R. Pazhakh, J.L. Abreu & R. Foroughbakhch. 2004. Fundamentos del método científico. *InnOvaciOnes de NegOciOs*, 1(1): 89-107.
- Badii, M.H., J. Castillo & A. Wong. 2006. Diseños de distribución libre. *InnOvaciOnes de NegOciOs*, 3(1): 141-174.
- Badii, M.H., J. Castillo, R. Rositas & G. Ponce. 2007a. Experimental designs. Pp. 335-348. In: M.H. Badii & J. Castillo (eds.). *Técnicas Cuantitativas en la Investigación*. UANL, Monterrey.
- Badii, M.H., J. Castillo, F. Gorjón & R. Foroughbakhch. 2007b. Completely randomized designs. Pp. 307-334. In: M.H. Badii & J. Castillo (eds.). *Técnicas Cuantitativas en la Investigación*. UANL, Monterrey.
- Badii, M.H., J. Castillo, K. Cortes & H. Quiroz. 2007c. Análisis de clusters. Pp. 15-36. In: M.H. Badii & J. Castillo (eds.). *Técnicas Cuantitativas en la Investigación*. UANL, Monterrey.

- Badii, M.H., J. Castillo, J.N. Barragán & A.E. Flores. 2007d. Análisis discriminante. Pp. 119-136. In: M.H. Badii & J. Castillo (eds.). Técnicas Cuantitativas en la Investigación. UANL, Monterrey.
- Badii, M.H., J. Castillo, J. Rositas & G. Alarcón. 2007e. Uso de un método de pronóstico en investigación. Pp. 137-155. In: M.H. Badii & J. Castillo (eds.). Técnicas Cuantitativas en la Investigación. UANL, Monterrey.
- Bernstein, B.B. & L. Goldfarb. 1995. A conceptual tool for generating and evaluating ecological hypotheses. *BioScience*, 45(1): 32-39.
- Cochran, W.G. & G.M. Cox. 1992. *Experimental Designs*. Editorial Wiley, New York.
- Foroughbakhch, R. & M.H. Badii. 2005. *Métodos Analíticos Estadísticos*. UANL, Monterrey.
- Hernández R., C. Fernández & P. Baptista. 1998. *Metodología de la Investigación*. Editorial McGraw Hill Interamericana, S.A. de C.V., México.
- Hines, W. & D. Montgomery, 1994. *Probabilidad y Estadística*. CECSA. México.
- Hinkelmann, K. & O. Kempthorne. 1994. *Design and Analysis of Experiments*. Vol. I. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Infante Gil, S. & G.P. Zárate. 2000. *Diseños Experimentales*. Editorial Trillas, México.
- Jaccard, J. 1998. *Interaction Effects in Factorial Analysis of Variance*. Sage Publications, Thousand Oaks.
- Martínez Garza, A. 1988. *Diseños Experimentales*. Editorial Trillas. México.
- Montgomery, D.C. 2001. *Design of Análisis of Experiments*. 15th Edition, Wiley. New Cork.
- Morris, T.R. 1999. *Experimental Design and analysis in Animal Sciences*. CABI Publishing, London.
- Mead, R., N. Curnow & A.M. Hasted. 1993. *Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology*. Editorial Chapman y Hall. London.
- Ostle, B. 1986. *Estadística aplicada*. Editorial Limusa-Wiley S.A., México.
- Padrón Corral, E. 1996. *Diseños Experimentales con Aplicaciones a la Agricultura y la Ganadería*. Editorial Trillas, México.
- Rositas, J., G. Alarcón & M.H. Badii. 2006. El desarrollo y evaluación de la declaración del problema de investigación. *InnOvaciOnes de NegOciOs*, 3(2): 331-345.
- Rositas, J., M.H. Badii, J. Castillo & R. Foroughbakhch. 2007. Técnicas de investigación basadas en sistemas de modelación estructurada. Pp. 291-304. In: M.H. Badii & J. Castillo (eds.). Técnicas Cuantitativas en la Investigación. UANL, Monterrey.
- Snedecor, G. & W. Cochran. 1994. *Statistical Methods*. 8th Ed. Iowa State University Press. Ames.
- Spiegel, M. 1991. *Estadística*. McGraw-Hill. México
- Steel, R.G.D. & J.H. Torrie. 1996. *Bioestadística Principios y Procedimientos*. McGraw-Hill. México.

