



Universidad Nacional de Catamarca
Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas
Doctorado en Agrimensura

Tesis Doctoral

“Metodología, aproximaciones estadísticas y principios normativos en el control de calidad de cartas topográficas a escalas mayores.”

Alicia Inés Pina

Diciembre 2014

Tesis Doctoral

Requerimiento parcial para acceder al grado académico de Doctora en Agrimensura en la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca.

Alicia Inés Pina

Ingeniera Agrimensora (U.N.C.)

Profesora en Matemática (U.N.C.)

Magister en Estadística Aplicada (U.N.C.)

Profesora Titular de Cartografía (Depto. de Agrimensura - F.C.E.F. y N.- U.N.C.)

Director de Tesis: Profesor Consulto Francisco Quintana Salvat (U.N.C.)

Co – Director de Tesis: Profesor Consulto Severiano Gustavo Bartaburu (U.N.C.)

Universidad Nacional de Catamarca

Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas

Maximio Victoria N° 55 - San Fernando del Valle de Catamarca

www.tecno.unca.edu.ar

Dedico este trabajo a mis tres grandes amores:

Mi hija, mi bebé, mi sol, mi luz,...

Ana María Villanueva (Anita)

Mi compañero, amigo,...

Angel Guillermo Villanueva (Tito)

Mi papá, quien desde allá me acompaña y guía mi camino...

Eugenio Benito Pina Argüello (Agrimensor y Profesor)



A la Universidad Nacional de Catamarca,



Institución pionera y única en el país, en carrera de postgrado con título máximo en Agrimensura, quien me abrió sus puertas y me brindó esta hermosa y anhelada posibilidad de caminar y aprender juntas.



*A la Universidad Nacional de Córdoba,
en sus 400 años de vida.*



19 de junio de 1613

19 de junio de 2013

Agradecimientos

Los agradecimientos son siempre incompletos, la lista de mis maestros es sumamente extensa.

Quedo en deuda y lo pongo de manifiesto, con los Profesores Consultos Francisco Quintana Salvat y Severiano Gustavo Bartaburu, de la Universidad Nacional de Córdoba, por sus enseñanzas, asesoramiento, apoyo constante, colaboración en la revisión del presente trabajo, y correcciones.

A los miembros de la Comisión del Doctorado en Agrimensura, Doctoras: Analía Argerich, Hilda Herrera, y Cristina Paccino, Dr. Cristian Bevaqua, quienes me apoyaron siempre con palabras certeras, cálidas y llenas de aliento.

A los profesores, amigos, colegas, alumnos, del Departamento de Agrimensura de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, fuente inagotable de consultas.

A mi “Angelita de la Guarda”, mi mamá Engracia (Nacha).

A mis hermanas Marta y Silvia Pina.

A Martin y Tito Villanueva, por su paciencia, apoyo y muestras constantes de afecto y cariño.

A mis sobrinos y sobrinas.

A todos aquellos que hicieron posible este sueño y confiaron en mi llegada.

Tesis Doctoral: *“Metodología, aproximaciones estadísticas y principios normativos en el control de calidad de cartas topográficas a escalas mayores.”*

Autora: *Alicia Inés Pina*

RESUMEN

El control de calidad de un producto cartográfico es una fase extremadamente importante pocas veces llevada a cabo, a pesar de que en muchos países es obligatoria por ley.

En el estudio de la calidad de un determinado producto cartográfico, analógico o digital, se pueden utilizar diferentes técnicas: estimaciones de experto, estudio de la coherencia interna, comparación con las fuentes, comparación con fuentes de mayor exactitud o mediante una evaluación de tipo deductivo. Cuando se trata de un estudio sobre la calidad posicional, el análisis estadístico mediante la comparación con fuentes de mayor exactitud es la que ofrece una mayor rigurosidad en los resultados.

El presente trabajo, plantea técnicas estadísticas multivariadas para el análisis de calidad de una carta topográfica a escala grande, en su expresión final gráfica (soporte digital o papel), cualquiera sea la manera o forma en la que se la obtuvo (levantamientos regulares, digitalización, fotogrametría área, e imágenes satelitales).

Se realiza una aplicación práctica donde se analiza tanto la precisión geométrica, como la exactitud temática en forma conjunta.

Para definir y enumerar las variables que definen la calidad de la carta, se tuvieron en cuenta, entre otros aspectos, la precisión geométrica, las condiciones técnicas, los sistemas de expresión gráfica, los criterios de generalización y la armonía, en forma completa.

En el control de la precisión geométrica se emplearon test estadísticos de normalidad, homogeneidad de varianzas, y se estudió la presencia de sistematismos.

Para estudiar la exactitud temática, se usaron métodos de análisis multivariado con el objetivo de expresar los datos como combinaciones lineales de las variables originales y reducir la masa de información a un nivel fácil de manejar con la pérdida mínima de información.

Se estudia y analiza de manera simultánea la calidad posicional y la calidad temática mediante una técnica estadística multivariada que consensúa dos o más configuraciones, obtenidas mediante la utilización de escalas métricas y escalas no métricas.

Se realiza, además, una investigación práctica sobre la calidad temática de cartas geológicas, con diseños de experimentos estadísticos para evaluar la efectividad del uso de las variables visuales en la calidad de la misma.

Como conclusión de estos estudios, se puede afirmar entre otros aspectos, que el uso de la estadística, sobre todo en lo que se refiere a los métodos de análisis multivariado, constituye una herramienta válida y confiable al momento de analizar el producto final de la producción cartográfica, y ponderar la calidad de información vertida en ellos.

La metodología propuesta para verificar la calidad de cartas topográficas a diferentes escalas, sobre la base de la evaluación simultánea de las distintas variables que la definen, se la puede considerar una técnica o procedimiento adecuado para dicha verificación. A través de la misma se pueden identificar las variables que caracterizan la calidad de una carta y sintetizar en un número reducido de combinaciones lineales la mayor parte de la información contenida en los datos o variables originales.

Doctoral Thesis: *"Methodology, statistical approaches and regulatory principles in the quality control of topographical charts at larger scales."*

Author: *Alicia Inés Pina*

SUMMARY

Quality control of a cartographic product is an extremely important phase rarely performed, although in many countries it is compulsory by law.

In the study of the quality of a given mapping, analog or digital product, you can use different techniques: expert estimates, the study of internal consistency, compared to sources, compared to more accurate sources or through evaluation of deductive. When it comes to a study of the positional quality, statistical analysis by comparison with sources of higher accuracy is offered more rigorous results.

This work presents multivariate statistical techniques for quality analysis of large-scale topographic map in its final expression graph (digital or paper), whatever the manner or form in which it is obtained (regular surveys, digitization, photogrammetry area, and satellite images).

A practical application where both the geometric accuracy as thematic accuracy is analyzed together is done.

To define and list the variables that define the quality of the card, were taken into account, among other aspects, the geometric precision, the technical, graphic expression systems, the criteria of composition and harmony, completely.

Statistical test of normality, homogeneity of variance were used in the control of the geometric accuracy and the presence of sistematismos was studied.

To study the thematic accuracy, multivariate analysis methods were used in order to express the data as linear combinations of the original variables and reduce the mass of information to a level easy to handle with minimal loss of information.

Is studied and analyzed simultaneously positional quality and thematic quality by a multivariate statistical technique that consensual two or more configurations, obtained by using non-metric and metric scales scales.

It also conducts applied research on the thematic accuracy of geological maps, statistical designs of experiments to evaluate the effectiveness of the use of visual variables in the quality of it.

As a conclusion of these studies, it can be stated, among other aspects, to the use of statistics, especially in regard to methods of multivariate analysis is a valid and reliable tool when analyzing the final product of the production cartographic, and weigh the quality of information contained in them.

The proposed methodology for verifying the quality of topographic maps at different scales, based on the simultaneous evaluation of different variables that define it, it can be considered a technique or procedure appropriate for this verification. Using the same

variables can be identified that characterize the quality of a letter and synthesized in a small number of linear combinations most of the information contained in the original data or variables.

Tese de Doutorado: *"Metodologia, abordagens estatísticas e princípios de regulação no controle de cartas topográficas em escalas maiores de qualidade."*

Autor: Alicia Inés Pina

RESUMO

O controle de qualidade de um produto cartográfico é uma fase extremamente importante raramente executada, embora em muitos países, é obrigatório por lei.

No estudo da qualidade de um determinado mapeamento, analógico ou produto digital, você pode usar diferentes técnicas: estimativas de especialistas, o estudo da consistência interna, em comparação com as fontes, em comparação com as fontes mais precisas ou por meio de avaliação de dedutivo. Quando se trata de um estudo da qualidade posicional, a análise estatística, em comparação com as fontes de maior precisão é oferecido resultados mais rigorosos.

Este trabalho apresenta técnicas de estatística multivariada para análise de grande escala mapa topográfico em seu gráfico expressão final (digital ou papel), qualquer que seja a forma ou a forma em que é obtida (inquéritos regulares, digitalização de qualidade , área de fotogrametria e imagens de satélite).

Uma aplicação prática, onde tanto a precisão geométrica como precisão temática é analisada em conjunto é feito.

Para definir e listar as variáveis que definem a qualidade do cartão, foram levados em conta, entre outros aspectos, a precisão geométrica, as técnicas gráficas, sistemas de expressão, os critérios de composição e harmonia, completamente.

O teste estatístico de normalidade, homogeneidade de variância foi utilizado no controle da exactidão geométrica e estudou-se a presença de sistematismos.

Para o estudo da precisão temática, os métodos de análise multivariada foram usados para expressar os dados como combinações lineares das variáveis originais e reduzir a massa de informações a um nível fácil de manusear com uma perda mínima de informação.

É estudado e analisado simultaneamente qualidade posicional e qualidade temática através de uma técnica estatística multivariada que consensual duas ou mais configurações, obtidos por meio não métricas e métricas escalas escalas.

Ele também realiza pesquisas aplicadas sobre a exactidão temática de mapas geológicos, projetos estatísticos de experimentos para avaliar a eficácia do uso de variáveis visuais na qualidade do mesmo.

Como conclusão destes estudos, pode-se afirmar, entre outros aspectos, para o uso de estatísticas, especialmente no que diz respeito aos métodos de análise multivariada é um instrumento válido e confiável quando se analisa o produto final da produção cartográfica, e pesar a qualidade das informações contidas neles.

A metodologia para a verificação da qualidade dos mapas topográficos em escalas diferentes, com base na avaliação simultânea de diferentes variáveis que definem, ele pode ser considerado como um método apropriado ou técnica para esta verificação. Usando as mesmas variáveis pode ser identificado que caracterizam a qualidade de uma letra e sintetizado em um pequeno número de combinações lineares a maioria da informação contida nos dados originais ou variáveis.

INDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: Calidad en cartografía	5
1.1.- Calidad y cartografía	5
1.2.- Factores que afectan la calidad en cartografía	6
1.3.- Motivos de normalización en cartografía	8
1.4.- Desarrollo de los sistemas de calidad en la producción cartográfica	10
1.5.- La familia ISO 19100	12
CAPÍTULO 2: Calidad en la información geográfica	19
2.1.- Calidad e información geográfica	19
2.2.- Normas ISO para la determinación de la calidad en la información geográfica digital	19
2.2.1.- ISO 19113: Principios de calidad	20
2.2.2.- ISO 19114: Procedimientos de evaluación de la calidad	22
2.2.3.- ISO 19138: Medidas de calidad	24
2.2.4.- Procedimientos de muestreo para la inspección por atributos y variables (ISO 2859 e ISO 3951)	25
2.3.- Calidad en bases de datos geográficos digitales	26
2.4.- Calidad del dato geográfico	27
CAPÍTULO 3: Calidad en productos cartográficos	30
3.1.- Calidad y productos cartográficos	30
3.2.- Control de calidad de productos cartográficos	30
3.3.- Control de calidad de mapas topográficos clásicos	32
3.3.1.- Precisión cartográfica	33
3.3.2.- Exactitud temática	38
3.4.- Control de calidad de mapas topográficos digitales	39
3.5.- Control de calidad de productos cartográficos digitales	41
3.6.- Principales estándares y test de calidad internacional en cartografía para control posicional	42
3.7.- Clasificación de los productos cartográficos según su exactitud posicional	48
CAPÍTULO 4: Propuesta metodológica para el control de calidad de cartas topográficas	52

4.1.- El control de calidad de cartas topográficas	52
4.2.- Propuesta metodológica	53
4.3.- Definición y enumeración de las variables que definen la calidad de una carta topográfica	54
4.3.1.- Variables de carácter cuantitativo. Componente posicional	54
4.3.2.- Variables de carácter cualitativo. Componente temática	54
4.4.- Matrices de datos. Metodología a emplear en el análisis de las mismas	58
4.4.1.- Matriz de datos cuantitativos. (Componente posicional)	58
4.4.2.- Matriz de datos cualitativos. (Componente temática)	59
4.5.- Antecedentes; trabajos con aproximaciones estadísticas a la calidad de cartas topográficas mediante el uso de técnicas multivariadas	60
4.5.1.- Cartas topográficas en soporte papel. Escala 1: 50.000	60
4.5.2.- Cartas topográficas en soporte digital. Formato vectorial (archivos de extensión CAD). Formato raster (archivos de extensión JPGF)	61
4.5.3.- Conclusiones de la experiencia descrita en los diferentes trabajos	63
4.6.- Justificación de la propuesta metodológica	63
CAPÍTULO 5: Elaboración y control de calidad de cartas topográficas	67
5.1.- Elaboración de cartas topográficas a escalas grandes	67
5.2.- Confección de una carta topográfica a escala 1: 10.000	69
5.3.- Control de calidad de la carta topográfica	73
5.3.1.- Precisión cartográfica. Análisis de la componente posicional	73
5.3.2.- Conclusiones particulares del control de la precisión cartográfica	79
5.3.3.- Análisis de la componente temática. Calidad de los atributos cartográficos	80
5.3.4.- Conclusiones particulares del análisis estadístico de la calidad temática	92
5.3.5.- Comparación estadística de ambas componentes	92
5.3.6.- Resumen de los análisis y métodos estadísticos empleados en el control de calidad de la carta topográfica	94
5.4.- Propuesta de categorización de cartas topográficas según su exactitud temática	95
CAPÍTULO 6: Elaboración y control de calidad de cartas geológicas	99
6.1.- Elaboración de cartas geológicas	99
6.1.1.- Principios de fotointerpretación aplicados al reconocimiento del terreno	101
6.1.2.- El problema de la representación de cartas geológicas	102

6.2.- Aplicación práctica: elaboración de una carta geológica a escala 1: 7.500	103
6.3.- Control de calidad de la carta geológica	105
6.3.1.- Estadística descriptiva	107
6.3.2.- Diseño de experimento. Experimento unifactorial para evaluar la efectividad de las variables visuales	108
6.3.3.- Conclusiones particulares de la efectividad del empleo de determinadas variables visuales en la calidad temática de una carta geológica	112
CONCLUSIONES	115
BIBLIOGRAFÍA	120
ANEXO I: Estadística. Conceptos aplicables al control de calidad de mapas	125
ANEXO II: Matrices de datos. Tablas. Gráficos	141
ANEXO III: Carta topográfica. Carta geológica	181

INDICE DE FIGURAS

Figura 5.1.- Imagen QuickBird	69
Figura 5.2.- Imagen QuickBird (Captura de pantalla AutoCad)	70
Figura 5.3.- Hoja 211 Registro Gráfico- Dirección General de Catastro de la Provincia de Córdoba- Escala 1:50.000 (Captura de pantalla AutoCad)	71
Figura 5.4.- Hoja 211-12. Escala 1: 10.000 (Captura de pantalla AutoCad)	72
Figura 6.1.- Fotoplano no apoyado. Escala aproximada 1: 20.000	104
Figura 6.2.- Fotoplano no apoyado. Escala aproximada 1: 20.000	104
Figura 6.3.- Perfil transversal generalizado	104
Figura 6.4.- Imagen IKONOS RGB. Escala aproximada 1: 7.500	105
Figura 6.5.- Carta geológica Escala 1: 7.500. (Captura de pantalla de AutoCad)	105
Figura 6.6.- Referencias citadas en la carta geológica	106

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1.1.- La familia ISO 19100	18
Gráfico 5.1.- Cuadrícula	74
Gráfico 5.2.- Gráfico de dispersión $\Delta Y_i - \Delta X_i$	76
Gráfico 5.3.- Gráfico de dispersión $\Delta X_i \Delta Y_i - \Delta Z_i$	76
Gráfico 5.4.- Gráfico de dispersión $(\Delta X - \Delta \bar{X})^2 + (\Delta Y - \Delta \bar{Y})^2 - (\Delta Z - \Delta \bar{Z})^2$	77
Gráfico 5.5.- Dendograma resultante del algoritmo “encadenamiento promedio” aplicado a la matriz de distancias obtenida a partir del coeficiente de similitud por empates simples	84
Gráfico 5.6.- Representación en el plano factorial del análisis de correspondencia de los distintos atributos	85
Gráfico 5.7.- Representación en el plano factorial del análisis de correspondencia de los atributos incluidos en el grupo de variables: condiciones técnicas	86
Gráfico 5.8.- Representación en el plano factorial del análisis de correspondencia de los atributos incluidos en el grupo de variables: sistemas de representación gráfica	86
Gráfico 5.9.- Representación en el plano factorial del análisis de correspondencia de los atributos incluidos en el grupo de variables: generalización cartográfica	86
Gráfico 5.10.- Representación en los primeros ejes del plano factorial generado por el Análisis de Coordenadas Principales de la matriz de distancias entre atributos obtenida a partir del coeficiente de similitud por empates simples	87
Gráfico 5.11.- Dendograma resultante del algoritmo “encadenamiento promedio” aplicado a la matriz de distancias obtenida a partir del coeficiente de similitud por empates simples	89
Gráfico 5.12.- Representación en el plano factorial del análisis de correspondencia de los distintos atributos	90
Gráfico 5.13.- Representación de las configuraciones en los primeros ejes del plano factorial generado por el Análisis de Procusto	93
Gráfico 5.14.- Representación en los primeros ejes del plano factorial generado por el Análisis de Procusto	93
Gráfico 6.1.- Gráfico de dispersión de los residuos	111
Gráfico 6.2.- Gráfico para la determinación de la normalidad de los residuos	111

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1.- Precisión planimétrica	35
Tabla 3.2.- Precisión altimétrica	36
Tabla 3.3.- ASPRS – Requerimientos de exactitud cartográfica para una cartografía de clase I	42 44
Tabla 3.4.- Fórmula de Koppe	
Tabla 5.1.- Tabla de resultados obtenidos para la coordenada X	75
Tabla 5.2.- Tabla de valores de los estadísticos usados en los test	76
Tabla 5.3.- Tabla resumen de los cuadrados de las diferencias	77
Tabla 5.4.- Dimensiones y atributos en estudio	81
Tabla 5.5.- Resumen de las dimensiones y atributos en estudio. Escala de medición	82
Tabla 5.6.- Matriz de datos cualitativos	83
Tabla 5.7.- Tabla resumen del análisis estadístico en relación a los grupos y subgrupos de variables	88
Tabla 5.8.- Nueva matriz de datos cualitativos obtenida a partir de la original	89
Tabla 5.9.- Tabla de asignación de pesos	91
Tabla 5.10.- Tabla de asignación de pesos para categorización	97
Tabla 6.1.- Cantidad de variables geológicas distinguidas por cada observador	107
Tabla 6.2.- Respuesta en segundos al reconocimiento de distintas clases litológicas según las variables visuales en estudio empleadas	109
Tabla 6.3.- Tabla de ANAVA del experimento desarrollado	110
Tabla 6.4.- Tabla de residuos correspondientes al modelo	111

LISTADO DE SIGLAS

- ACI** – Asociación Internacional de Cartografía
- AENOR** – Agencia Europea de Normalización
- ANAVA** – Análisis de la varianza
- ASPRS** - American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
- BDG** – Base de Datos Geográficos
- BDGD** - Base de Datos Geográficos Digital
- CAD** – Diseño Asistido por Computadora
- CERCO** - Comité de Responsabilidades de la Cartografía Oficial Europea
- CMAS** - Circular Map Accuracy Standard
- CONEAU** – Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria
- EC** – Error Circular
- EMAS** - Engineering Map Accuracy Standard
- EMC** – Error Medio Cuadrático
- EUROSTAT** – Oficina Europea de Estadística
- FGDC** - Federal Geographic Data Committee of the United States of America
- FME** – Fuente de Mayor Exactitud
- GPS** – Sistema de Posicionamiento Global
- IGM (Argentina)** – Instituto Geográfico Militar de la República Argentina
- IGN (Argentina)** – Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina
- IGNF** - Instituto Geográfico Nacional de Francia
- IG** – Información Geográfica
- INEI** – Instituto Nacional de Estadística e Informática – México
- IPGH** – Instituto Panamericano de Geografía e Historia
- ISO** – Organización Internacional de Normalización
- ISO/TC 211** - Organización Internacional de Normalización/ Comité Técnico 211
- MCP** – Métodos de Control Posicional
- MDE** – Modelo Digital de Elevación
- MDT** – Modelo Digital de Terreno

NLS - National Land Survey

NMA - National Mapping Agencies

NMAS - National Map Accuracy Standard

NSSDA - National Standard for Spatial Data Accuracy

OGC - Open Geospatial Consortium

ONU – Organización de Naciones Unidas

OS - Ordnance Survey

PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica – Patrón de Exactitud Cartográfica

RAE – Real Academia Española

RMSE - Root Mean Square Error

SEGEMAR – Servicio Geológico Minero Argentino

SIG – Sistema de Información Geográfica

USGS - United States Geological Survey

UTM - Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator

VHR – Very High Resolution

INTRODUCCIÓN

La cartografía moderna constituye, en sí, un importante medio de comunicación en constante expansión, que presenta la peculiaridad de utilizar la expresión gráfica para dar información.

Hasta hace muy pocos años el uso de mapas/cartas, así como la interpretación y lectura de los mismos, estaba destinado a profesionales en cuya formación académica se consideraba esencial el manejo de mapas geográficos, cartas topográficas, fotografías aéreas y satelitales. Hoy en día esto ha sido superado ampliamente y el empleo habitual de los mismos, ha pasado a ser un complemento general: su uso para viajes y excursiones, su presencia constante en los medios informativos (diarios, televisión, internet), han hecho intuitivo su empleo para una gran masa de la población; y como consecuencia ha aumentado desmesuradamente el número de mapas y cartas que se producen.

La producción de mapas geográficos, y cartas topográficas, cobra una especial relevancia ante las nuevas oportunidades que brindan las modernas bases digitales de datos y las numerosas posibilidades de tratamiento informático. Como resultado, la cartografía ha evolucionado a la par de la ciencia y la tecnología, hasta su expresión moderna, la cartografía digital y los sistemas de información geográfica, constituyendo hoy en día una necesidad en todas las esferas de la vida del hombre.

La digitalización de la información geográfica ha llevado en muchos casos a un sentimiento de confianza ciega en su bondad, sin cuestionar su verdadera calidad por tratarse de información digital.

Hoy en día, las imágenes obtenidas por los satélites y la teledetección ofrecen una perspectiva única de la tierra, sus recursos naturales y el impacto que sobre ella ejercen los seres humanos, con la ventaja que se obtienen en soporte digital y en forma periódica. Por otro lado, aplicándoles un procesamiento digital, las imágenes satelitales brindan información que no es captada por levantamientos fotogramétricos o topográficos.

La cartografía se ha transformado en una rama más de la ingeniería, en la que numerosos productos se pueden elaborar con inversiones informáticas relativamente económicas, esto ha llevado a un enorme auge en la producción de información geográfica, pero que en muchas ocasiones se produce con una calidad dudosa por múltiples razones, siendo una de ellas su manipulación por personal con falta de formación adecuada sobre la calidad de los procesos cartográficos.

Ya no son los tradicionales institutos cartográficos los únicos centros donde se produce cartografía, y como consecuencia de esto, la facilidad o ligereza, con la que se gestiona

o puede gestionar la información geográfica, lleva en algunos casos a la obtención de resultados no del todo confiables, por lo que, hoy en día, el control de calidad de los procesos y productos, resulta especialmente importante, al igual que en otros ámbitos, en el sector cartográfico.

El control de calidad en cartografía, en especial en los productos cartográficos, es un problema estadístico que debe ser analizado en forma global, y no se puede limitar solo a aspectos relacionados con la precisión cartográfica, con cuestiones puramente geométricas, ya que la expresión final es gráfica y deben incluirse en la misma los aspectos estéticos.

La importancia final de la calidad en cartografía viene determinada por el uso que se haga de la información, dado que la cartografía levanta modelos de la realidad que son utilizados para la toma de decisiones, como por ejemplo, el ordenamiento del territorio, planes para el desarrollo de la agricultura, uso sustentable de los recursos naturales, entre otras.

El presente trabajo se centra en el control de calidad de cartas topográficas por ser las mismas el soporte, entre otras cosas, para el desarrollo de las grandes obras de ingeniería. Con la misma finalidad se realiza un estudio práctico sobre cartas geológicas ya que toda carta geológica se apoya en una carta topográfica, por lo cual es imprescindible para obtener un buen documento geológico, tener un buen documento topográfico en el que apoyarse.

Toda esta problemática se aborda, desde la perspectiva del agrimensor, ya que la resolución 1054/2002¹ del Ministerio de Educación de la Nación, que incluye en la nómina del art. 43 de la Ley N° 24.521, el título de Ingeniero Agrimensor, determina que son actividades profesionales reservadas a dicho título la *“elaboración e interpretación de planos, mapas y cartas temáticas, topográficas y catastrales, y la determinación del lenguaje cartográfico, de los símbolos y de la toponimia”* (Anexo V-1, inc. P y Q).

Estas valiosas actividades son absolutamente necesarias para la correcta planificación de todos aquellos estudios o proyectos que tengan como base la representación fiel del terreno y la información asociada a éste.

Por lo expuesto es que:

¹ Ministerio de Educación- EDUCACION SUPERIOR – Resolución 1054/202 - Anexo V-1 “Actividades Profesionales reservadas al título de Ingeniero Agrimensor” www.me.gov.ar , www.agrimensores.org.ar

El objetivo general del presente trabajo consiste en “*plantear una metodología para analizar la calidad de cartas topográficas a escalas grandes, sobre la base de la evaluación simultánea de las distintas variables que la definen*”.

Los objetivos específicos son:

1. *Identificar las variables que caracterizan la calidad de una carta topográfica.*
2. *Aplicar métodos estadísticos multivariados para su expresión sintética.*
3. *Contribuir al establecimiento de criterios estadísticos de calidad topográfica.*
4. *Eventualmente protocolizar, si fuera posible, el procedimiento de clasificación en una escala de calidad ad hoc.*

Para alcanzar dichos objetivos se emplearon imágenes satelitales QuickBird, IKONOS, fotogramas aéreos y software específicos de procesamiento de imágenes y diseño cartográfico para elaborar una carta topográfica, como así también una carta geológica y software de procesamiento estadístico de datos para el control de calidad de los productos obtenidos.

A continuación se presenta una breve síntesis con el objeto de introducir a modo de presentación el contenido de esta Tesis.

En el **CAPITULO 1** se destaca la importancia de englobar a la producción cartográfica en el ámbito de la ingeniería y de controlar los procesos tanto de gestión cómo de producción de mapas/cartas topográficas. Se desarrollan conceptos básicos de calidad, calidad en cartografía y normalización. En el mismo se plantea una evolución histórica del desarrollo de los sistemas de calidad en la producción cartográfica.

En el **CAPITULO 2** se plantea la problemática de la calidad de las bases digitales de datos geográficos y se estudia en especial la calidad del dato geográfico y de sus componentes. Se analizan en forma detallada las normas elaboradas por el Comité Técnico 211, de la Organización Internacional de Estandarización (ISO/TC 211) referidas a la determinación de la calidad de la información geográfica digital (ISO 19113, ISO 19114 e ISO 19138).

En el **CAPITULO 3** se estudia la calidad de los productos cartográficos y los métodos clásicos y actuales para controlar la calidad de mapas/cartas topográficas. El estudio se centra en la exactitud posicional de estos productos, ya que el presente trabajo de tesis plantea la problemática de la calidad de cartas topográficas a escalas grandes (1:10.000 y mayores), para las cuales la calidad posicional es fundamental, ya que sobre las mismas se toman decisiones basadas en valores cuantitativos medibles y calculables. Se plantea, además, la problemática de la exactitud temática y la importancia de la misma en la elaboración, actualización y control de calidad de cartas topográficas.

En el **CAPITULO 4** se propone una metodología para el analizar la calidad de cartas

topográficas basada en métodos estadísticos multivariados. Se analiza las ventajas y desventajas de la misma, se plantea su viabilidad, y se realiza una justificación de la propuesta metodológica.

En el **CAPÍTULO 5**, con el objetivo de poner en práctica los fundamentos teóricos y las técnicas presentadas en este trabajo de tesis, se elabora una carta topográfica a escala 1:10.000. Se realiza un análisis de la calidad total del producto obtenido mediante métodos estadísticos multivariados con los que se analiza en forma global la calidad desde los diferentes puntos de vista.

En el **CAPITULO 6** se elabora una carta geológica a escala 1:7.500 teniendo especialmente en cuenta las distintas formaciones geológicas, que unidas a un inadecuado uso del suelo traen como consecuencia, la necesidad urgente de la construcción de diferentes obras de ingeniería civil, para salvar los problemas existentes de la zona. Al respecto se diseña un experimento estadístico para analizar la exactitud temática del producto obtenido.

Por último, en las **CONCLUSIONES** se lleva a cabo una comparación de la metodología vigente con la metodología propuesta.

En los **ANEXOS I y II** se describen sintéticamente los test estadísticos, los métodos de análisis multivariados empleados en el presente trabajo de tesis, y se presentan las tablas de datos, de resultados y los gráficos, obtenidos de la aplicación de los diferentes test y métodos estadísticos utilizados.

CAPITULO 1

Calidad en Cartografía

1.1.- Calidad y Cartografía

Para comenzar a hablar de calidad, primero hay que definir qué se entiende por calidad. La RAE, brinda la siguiente definición de calidad: *“Propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa que permiten apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de su especie”*. (Diccionario de la Lengua Española – vigésima segunda edición - RAE, 2011).

En esta definición se destacan tres aspectos:

- La calidad puede expresarse como una o más propiedades.
- La calidad supone apreciación, y por ello existirán tantas apreciaciones como sujetos distintos.
- El considerar algo mejor, igual o peor, supone comparar.

Estos tres aspectos son base de todo lo concerniente a la calidad.

La Organización Internacional de Normalización (ISO), define a la calidad como él: *“Grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos”*. (ISO 9001:2008- Sistemas de Gestión de la Calidad).

Esta definición más técnica está referida al “cumplimiento requisitos”.

Según Ariza López F.², (1999) se pueden considerar cinco enfoques sobre la calidad:

1. *“un enfoque trascendente, propio de conceptos superiores como justicia, belleza, equidad, etc.;*
2. *un enfoque basado en el producto y que supone que la calidad puede ser apreciada en aquél;*
3. *el enfoque basado en el cliente supone que el cliente puede valorar la calidad de forma subjetiva en función de sus necesidades y expectativas;*
4. *el enfoque centrado en el proceso de fabricación consiste en acercar el producto a sus especificaciones de diseño y beneficia principalmente a la empresa;*
5. *el enfoque basado en el valor de mercado supone que dicho valor de mercado integra todas las cualidades del producto y que, por tanto, evalúa la calidad del producto”*.

La calidad posee diferentes dimensiones o características que las son diversas perspectivas que se pueden adoptar para valorar las cualidades de un producto. Las

² Ariza López F., Saez Cuatrero A, (1999) “Desarrollo de los sistemas de calidad en la producción cartográfica”. En Mapping Interactivo, N°. 51, pp. 26-34

características principales se corresponden con las prestaciones definitorias del producto; las características secundarias son prestaciones adicionales que complementan el equipamiento o prestaciones del producto o servicio.

La conformidad con las especificaciones supone el grado de cumplimiento del diseño por parte de las características primarias y secundarias.

La cartografía consiste en levantar modelos de la realidad. Estos modelos se plasman en productos (por ejemplo: mapas o bases de datos geográficas) que se utilizan como base o información cuyo análisis permite el desarrollo de proyectos, planes y políticas, es decir, actuaciones y programación de inversiones.

Es justamente por el papel de elemento base para la toma de decisiones que la calidad es importante para la cartografía y que a ésta debemos entenderla más que como un conjunto de procesos de ingeniería, como un arte. Cuanto más importantes sean las consecuencias del uso de la cartografía más importante debe ser el cuidado de su calidad. Pero siendo ingeniería, el hacer cartográfico es algo distinto del hacer de otras ingenierías pues la materia base no es un metal u otro material que se manipule para dar un producto con cierta forma, aquí se trabaja con datos y modelos en un proceso complejo en el que se enlazan sucesivas transformaciones que incrementan los niveles finales de incertidumbre, es decir, del elemento que justamente se quiere reducir en la toma de decisiones.

1.2.- Factores que afectan la calidad en cartografía

“...Existen dos puntos de vista, desde los cuales se puede analizar la calidad en los procesos de producción cartográfica: la de los productores y la de los usuarios...” (Ariza López, F. 2006)³.

Desde el punto de vista de los productores, podemos pensar en el hecho de que todo producto o servicio pretende cubrir o satisfacer una necesidad y que dicho producto se realiza siempre a partir de un diseño. De esta forma, para el productor la calidad significaría el grado de cumplimiento del diseño.

Desde la perspectiva de productor/usuario, la calidad es el grado de cumplimiento del diseño, es decir, la diferencia entre lo diseñado y lo producido y los principales problemas son: los costos de mala calidad, la indefinición de procesos y la variabilidad en la producción. Sin embargo, el mercado lo forman los usuarios y por ello la verdadera dimensión de la calidad se observa desde esta perspectiva en la que cada

³ Ariza López, F., (2006) “Factores determinantes de la calidad de los productos/servicios cartográficos”. En Mapping Interactivo N° 112, pp. 30-39

usuario tendrá una sensación de calidad distinta, cada usuario plantea sus necesidades, por lo que la calidad debe ser entendida como la adecuación al uso del diseño del producto, teñido por su realización práctica.

Los problemas aparecen cuando el producto no se ajusta a las necesidades, cuando hay falta de información o se crean falsas expectativas y cuando el producto o servicio tienen variabilidad. Esta perspectiva, la del usuario, es más compleja que la anterior, pero es la que, finalmente, hemos de tener en cuenta pues los usuarios constituyen una parte importante del mercado.

Los principales factores que afecta a la calidad de un producto cartográfico o de cualquier otra índole, son:

- El propio diseño del producto.
- Los procesos de realización del producto.
- La organización o empresa.

Un buen diseño es la base de un buen producto. El diseño debe realizarse con una perspectiva completa sobre el producto, es lo que se denomina ciclo de vida del producto. Este ciclo deber ser analizado y especificado en todos sus términos, y es una perspectiva que debe ser incorporada en cartografía. El diseño no debe atender sólo a criterios ingenieriles y técnicos, debe ser ajustado a las necesidades y gustos de los usuarios, pues en caso contrario el producto no tendrá una adecuada salida y eso no es lo que pretende la organización. Por tanto el diseño debe ser capaz de captar las necesidades de los usuarios, llevar esta mira hasta la línea de producción.

Los procesos de realización del producto son, en su conjunto, el gran macro factor indicado como relevante de la calidad de un producto cartográfico. El flujo de procesos y operaciones deberá estar especificado de manera clara e inequívoca, esto supone indicar: especificaciones, métodos, máquinas, operarios, tolerancias, criterios de actuación frente a eventualidades, etc. Son muchos los procesos que se pueden considerar en la producción cartográfica (levantamientos en campo, apoyos, restituciones, digitalizaciones, conversiones, etc.), y por ello se ha de buscar algún factor común para dar recomendaciones generales.

La información más relevante que caracteriza a un proceso es su variabilidad. La variabilidad es la raíz de muchos problemas y constituye una fuente de insatisfacción para los usuarios y de complicaciones para el productor. La variabilidad es algo propio, innato a todo proceso pero debe estar acotada. En relación a la variabilidad se define el concepto de capacidad de un proceso. Un proceso capaz es aquel que permite obtener el producto con una variabilidad acotada. De esta forma los procesos pueden estar bajo control (variabilidad acotada por unas tolerancias) o fuera de control (cuando se sobrepasan los límites de variabilidad marcados).

El último factor que afecta a la calidad es la propia organización (estudio profesional, empresa, instituto cartográfico, universidad) en la que se produce la cartografía. Las organizaciones son un factor clave puesto que el diseño y la producción se resuelven dentro de unos esquemas organizativos y con unos claros propósitos para la propia entidad, por ello realmente este macro factor está, y así debe ser, por encima de los anteriores.

Como conclusión, se afirma que la calidad se refiere a la totalidad de las características de un producto o servicio tal que le confieren su aptitud para satisfacer unas necesidades explícitas o implícitas.

1.3.- Motivos de normalización en cartografía

“...El hombre ha sentido siempre la necesidad de establecer unas normas técnicas para poder comunicarse o comerciar con otros individuos o grupos afines. Esta necesidad se acentuó en la era industrial y con la globalización del comercio, y para satisfacerla se crearon organizaciones, inicialmente nacionales, encargadas de normalizar los más diversos aspectos industriales tecnológicos...” (Diaz Centeno J., 2003)⁴

Las normas marcan la diferencia entre la producción artesanal y la producción industrial en serie, permiten en consecuencia que el proceso sea repetible y facilitan su control, lo que hace que el desarrollo, producción y suministro de bienes y servicios pueda optimizarse y llegar a ser más eficiente.

Algunas de las ventajas derivadas de la normalización de procesos productivos, según la Organización Internacional de Normalización: (ISO 9001:2008- Sistemas de Gestión de la Calidad) son:

- *Possibilidad de disponer de bienes y servicios de más calidad, seguridad, fiabilidad, eficiencia y que puedan actuar como componentes intercambiables.*
- *Aumento de la sana competitividad entre distintas soluciones tecnológicas.*
- *Facilidades para el comercio nacional e internacional en igualdad de condiciones.*
- *Servir de base tecnológica para la definición de leyes y disposiciones a favor de la salud, la seguridad y la protección del medio ambiente.*
- *Permitir la difusión de innovaciones, el intercambio de avances técnicos y la adopción de buenas prácticas.*
- *Potenciar la defensa de los derechos de consumidores y usuarios.*
- *Simplificarnos la vida proporcionando soluciones únicas a problemas comunes.*

⁴ Diaz Centeno J. (2003). “Motivos y estado actual de la normalización de la información geográfica y cartografía”. En *Biblio 3W* Vol. VIII, Núm. 467.

Es conveniente aclarar además, los conceptos de norma, estándar, recomendación y especificación, en el ámbito del vocabulario técnico de normalización, ya que en ocasiones se emplean como sinónimos, porque el lenguaje común lo admite.

Norma es todo documento que armoniza aspectos técnicos de un producto, servicio o componente, definido como tal por algún organismo oficial de normalización, como Organización Internacional de Normalización (ISO), Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). En ocasiones se las llama normas de jure o normas de derecho.

Estándar es cualquier documento o práctica que, sin ser norma, está consagrado y aceptado por el uso y cumple una función similar a la de una norma. Incluye los documentos de tipo normativo que no han sido definidos por un organismo oficial de normalización. En ocasiones se les llama normas de facto o normas de hecho. Por ejemplo: los estándares de calidad internacional en cartografía para el control posicional, los estándares establecidos por la Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria (CONEAU), para las diferentes carreras de grado que dictan en universidades nacionales y privadas en Argentina.

Recomendación es una directriz que promueve un organismo que intenta armonizar prácticas y usos en una comunidad determinada, normalmente basándose en un consenso previo. Su mayor o menor éxito depende de la influencia que es capaz de ejercer el organismo que la propone. Por ejemplo: Oficina Europea de Estadística (EUROSTAT), produce recomendaciones para armonizar las prácticas estadísticas en Europa.

Especificación, es una descripción técnica, detallada y exhaustiva de un producto o servicio, que contiene toda la información necesaria para su producción. Por ejemplo las especificaciones del Open Geospatial Consortium (OGC).

“...En lo que respecta a la información geográfica, la característica común de la misma era que casi siempre su gestión, producción o análisis por un individuo o grupo finalizaba, o se iniciaba y finalizaba, en un mapa...” (García García F.; Rodríguez Pascual A., 2008)⁵

Esta circunstancia obligaba a normalizar la representación cartográfica, pero no la información geográfica en sí, ya que era necesario interpretar los mapas para extraer de ellos la información geográfica utilizable en la gestión o análisis a desarrollar, así como a representar en mapas el resultado de los mismos. Esto trajo como consecuencia, ya en el siglo XIX, el establecimiento de normas para la producción de mapas. Pero la aplicación de la tecnología informática a la gestión y análisis de la información

⁵ García García, F. J.; Rodríguez Pascual A.F. (2008) “Normalización de la información geográfica”. En *Mapping Interactivo* Núm. 123, pp. 12-18.

geográfica, durante el último cuarto del siglo pasado obligó a plantearse la necesidad de además de normalizar la representación cartográfica de la información, normalizar la propia información geográfica, para que ésta en sí misma fuese la que conservase y transmitiese las propiedades de dicha información, reflejadas en los mapas, sobre su situación, distribución y relaciones. Aun cuando a partir de 1980 diversos grupos iniciaron el desarrollo de normas, o al menos formatos de intercambio de información geográfica, es partir de 1980 cuando se produce un avance claro en la normalización de la información geográfica. Las iniciativas desarrolladas durante los 80 por distintos grupos o proyectos, se concretan en iniciativas más globales y, sobre todo, más independientes. Todos estos grupos reconocían que la importancia de la normalización en cualquier sector de actividad humana de carácter productivo era capital, ya que iba inevitablemente asociada a la madurez de las tecnologías implicadas.

1.4.- Desarrollo de los sistemas de calidad en la producción cartográfica

Las Normas ISO 9000 suponen un cambio de organización en la producción donde lo que se pretende es dejar bien claro lo que se va a hacer en cada paso del proceso de producción, y realmente hacer lo que se dice. Para ello es necesario el desarrollo de unos manuales específicos propios del ámbito de la Cartografía.

Partiendo de esta preocupación a partir de la década del 90 aparecieron trabajos que se centraban en mostrar la necesidad de incorporar en la producción cartográfica los marcos normativos propios de la serie ISO 9000.

El interés europeo existente en el ámbito de las Normas ISO 9000 era muy grande. Para tal fin el Comité de Responsabilidades de la Cartografía Oficial Europea, (CERCO) constituyó, un grupo de trabajo sobre calidad en el que se agrupaban 34 Agencias nacionales de cartografía (NMA, National Mapping Agencies) de toda Europa.

En 1987 la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional de Francia (IGNF) decidió establecer la calidad total y creó para ello el Grupo de Organización y Métodos (GOM). Tras varios estudios previos realizados entre los años 1995 y 1996 sobre la posible certificación ISO 9000 de la base de datos geográficos, presenta las siguientes conclusiones en la reunión de CERCO de abril de 1997:

“La Aplicación de ISO 9000 constituye un reto muy interesante suponiendo un gran progreso, pero incluye riesgos: una nueva burocracia muy considerable. En la aplicación de ISO 9000 hay que mantener un delicado equilibrio costos/beneficios. ISO 9000 está concebida principalmente para productos manufacturados y su adaptación al campo de la producción cartográfica no es nada trivial. Es necesario aplicar ISO 9000 para poder competir y sobrevivir en el mercado, controlar tanto los costos como la

calidad, tener en cuenta e integrar de un modo normalizado el punto de vista de los clientes y usuarios”.(CERCO, 1997)

También es importante destacar la experiencia británica alcanzada por la Ordnance Survey (OS) en 1993, en la aplicación de la ISO 9000, bajo una filosofía de trabajo de Control de Calidad Total. Las principales conclusiones a las que, con su experiencia ha llegado la OS son:

“El mejor indicador de la eficiencia de la implantación de la ISO 9000 es la variación en las actualizaciones en la revisión de instrucciones, cuando más dinámico es el contenido de la documentación de Control de Calidad mejor es el Sistema de Calidad (SC) implementado según ISO 9000 y mejor es para la organización el balance costo/beneficio”. (OS- Gran Bretaña, 1993)

Existen otras organizaciones como la National Land Survey (NLS) de Suecia, la National Mapping Agency (NMA) de Noruega, la National Land Survey (NLS) de Finlandia, que también comenzaron en los últimos años de los 80 a aplicar dichas normas.

Todas llegaron a la conclusión que la aplicación de las Normas ISO 9000 era una realidad en el ámbito de la producción industrial y de los servicios, sin embargo existía un cierto vacío en su aplicación en el ámbito de la producción cartográfica.

El número de agencias cartográficas con una certificación ISO 9000 no es relevante, lo que no significa que dichas organizaciones no se interesen por la calidad. Las razones para no solicitar una certificación suelen ser diversas, desde el costo que comporta el concurso de una entidad externa de certificación hasta el prestigio e imagen corporativa de profesionalidad bien establecida que ya tienen por sí mismas las agencias oficiales de cartografía, sin obviar que la correcta implementación de un sistema de gestión de la calidad no requiere una certificación explícita.

Cabe destacar que los cuerpos de normalización trabajaron y trabajan agrupando las contribuciones de todos los actores y organismos que intervienen en el campo de la información geográfica (IG): empresas productoras de software, productores de datos, agencias espaciales, organismos de normalización, asociaciones profesionales, universidades, sector público, etc. En la actualidad hay una coincidencia plena de opinión sobre la necesidad de tener una sola normativa de referencia en el sector, y que ésta debe darse al nivel más alto, es decir, en ISO.

El comité internacional ISO/TC 211 comenzó a trabajar en noviembre de 1994 con el objetivo de establecer normativa de referencia en el campo de la información geográfica digital, pensada para la transferencia de datos. Como resultado de este trabajo, apareció la familia ISO 19100, un conjunto de normas relacionadas con objetos o fenómenos que están directa o indirectamente asociados con una localización relativa a la Tierra. La

normativa trata sobre los métodos, herramientas y servicios para la gestión de datos, adquisición, procesamiento, análisis, acceso, presentación y transferencia de información geográfica en formato digital entre diferentes usuarios, sistemas y localizaciones. Este trabajo se realiza haciendo referencia, siempre que sea oportuno, a la normativa existente en materia de tecnologías de la información y las comunicaciones. Así pues, esta coordinación de iniciativas en torno a ISO/TC 211, y su familia de normas ISO 19100, para la información geográfica, dio como resultado que actualmente estén aprobadas diversas normas de esta familia y en proceso avanzado de discusión y aprobación las restantes.

1.5.- La familia ISO 19100

La meta de esta serie de normas ISO 19100⁶, es desarrollar una familia de normas internacionales las cuales: darán soporte al entendimiento y uso de información geográfica; incrementarán la disponibilidad, acceso, integración y participación en esta materia; permitirán la interoperabilidad de sistemas computacionales geoespacialmente; contribuirán a un acercamiento unificado para tratar problemas humanitarios globales; facilitarán el establecimiento de infraestructuras geoespaciales a nivel local, regional, global; y contribuirán a la homologación de datos geoespaciales para el desarrollo sustentable.

Para su estudio y comprensión se puede dividir a la familia de normas en 5 grandes grupos: normas generales, normas de datos, normas de servicios, normas raster y malla, y normas complementarias.

En la siguiente lista están especificados los códigos, el nombre/proyecto de norma y una breve descripción de las normas en castellano. (*Fuente: Instituto Panamericano de Geografía e Historia- Guía de Normas – Edición en Español- Publicación 541- Comité ISO/TC 211- Información Geográfica/Geomática- Grupo Consultivo de Desarrollo*).

Normas generales

- **19101 Modelo de referencia:** Describe el uso del Modelo Conceptual y cómo se usa en la familia de normas 19100 para habilitar y conformar los sistemas de aplicación para ínter operar y conformar los datos geográficos.
- **19101-2 Modelo de referencia – Parte 2: Imágenes:** Define un modelo de referencia para la normalización en el campo del procesamiento de imágenes geográficas.

⁶ Las normas ISO 19100 del Comité Técnico 211, pueden ser adquiridas a través de la página web de la Organización Internacional de Normalización <http://www.iso.org> y su versión en español, a través de la página web del Instituto Panamericano de Geografía e Historia <http://www.ipgh.org>

- **19103 Lenguaje del esquema conceptual:** Trata lo concerniente a la adopción y uso de un Lenguaje de Esquema Conceptual (CSL), para desarrollar modelos interpretables computarizados, o esquemas, de información geográfica.
- **19104 Terminología:** Provee la guía para la colección y mantenimiento de terminología en el campo de la información geográfica.
- **19105 Conformidad y prueba:** Especifica el marco, conceptos y metodología para prueba y criterios a alcanzarse para declarar conformidad con las normas de la serie ISO.
- **19106 Perfiles:** Proporciona un conjunto de guías para la creación de perfiles de normas de información geográfica.

Normas de datos

- **19102 Visión general:** Proporciona una visión general de la familia de normas ISO.
- **19107 Esquema espacial:** Especifica esquemas conceptuales para describir las características espaciales de rasgos geográficos.
- **19108 Esquema temporal:** Define conceptos para describir características temporales de la información geográfica.
- **19109 Reglas para el esquema de aplicación:** Define reglas para crear y documentar esquemas de aplicación, incluyendo principios para la definición de rasgos.
- **19110 Metodología para el catálogo de rasgos:** Define la metodología para los tipos de catálogos de rasgos. Especifica cómo la clasificación de tipos de rasgos se organiza en un catálogo y se presenta a los usuarios de un conjunto de datos geográficos.
- **19111 Referenciación espacial de coordenadas:** Define el esquema conceptual para la descripción de referenciación espacial por coordenadas.
- **19112 Referenciación espacial por indicadores geográficos:** Define el esquema conceptual basado en referencias espaciales sobre identificadores geográficos.
- **19113 Principios de calidad:** Establece los principios para describir la calidad de estos datos geográficos y especifica los componentes para reportar la información de calidad.
- **19114 Procedimientos de evaluación de la calidad:** Proporciona un marco de procedimientos para determinar y evaluar la calidad que es aplicable a los conjuntos de datos geográficos digitales, consistente con los principios de calidad de datos definidos en ISO 19113.

- **19115 Metadatos:** Define el esquema requerido para describir información geográfica y servicios. Proporciona información acerca de la identificación, extensión, calidad, esquema temporal y espacial, referencia espacial y distribución de datos geográficos.
- **19118 Codificación:** Especifica los requerimientos para la creación de reglas de codificación en esquemas UML (Lenguaje Unificado de Modelado), para la creación de servicios de codificación y un XML (Lenguaje de Marcas Extensible), informativo basado en reglas de codificación para el intercambio neutral de datos geográficos.
- **19136 Lenguaje de marcado geográfico:** Es una codificación XML en cumplimiento con ISO 19118 para el transporte y almacenamiento de información geográfica modelada de acuerdo al marco de modelamiento conceptual usado en la serie ISO 19100 incluyendo tanto las propiedades espaciales y no espaciales de rasgos geográficos.
- **19137 Perfiles usados generalmente del esquema espacial y de otros esquemas de importancia similar:** Define un perfil fundamental de ISO 19107 que especifica en concordancia con ISO 19106, un conjunto mínimo de elementos geométricos necesarios para la creación eficiente de esquemas de aplicación.
- **19138 Medidas de calidad de datos:** Define los componentes y estructura de contenido de un registro para las medidas de calidad de los datos.

Normas de servicios

- **19116 Servicios de posicionamiento:** especifica la estructura y contenido de datos de una interfaz que permite la comunicación entre uno o varios dispositivos que proporcionan la posición y uno o varios dispositivos que utilizan la posición, a fin de que estos últimos puedan obtener e interpretar en forma precisa la información relacionada con la posición y determinar si los resultados cumplen con los requisitos de uso.
- **19117 Representación:** Definición de un esquema que describe la representación de información geográfica en una forma entendible humanamente incluyendo la metodología para la descripción de símbolos y mapas del esquema para una aplicación concreta.
- **19119 Servicios:** Identificación y definición de los patrones de arquitectura para interfaces de servicio usados para información geográfica y definición de las relaciones con el modelo de ambiente de sistemas abiertos.
- **19125-1 Acceso de rasgo simple-Parte 1:** Arquitectura común: Esta parte establece una arquitectura común y define términos para usar dentro de la

arquitectura; estandariza nombres y definiciones geométricas para tipos empleados en cuestiones geométricas.

- **19125-2 Acceso de rasgo simple-Parte 2:** Opción SQL (Lenguaje de Consulta Estructurado): Esta parte especifica el esquema SQL que da soporte al almacenamiento, recuperación, consultas y actualizaciones de las colecciones de rasgo geoespacial simple.
- **19125-3 Consorcio de SIG abiertos- Especificación de rasgos simples:** OGC (Open Geospatial Consortium): Tiene la visión de la integración completa de datos geoespaciales y de recursos de geoprocesamiento dentro de un flujo principal de cómputo y el uso extendido de software de geoprocesamiento ínter operable y productos de datos geoespaciales a través de infraestructura de información.
- **19128 Interfaz de servidores de mapas por web:** Especifica el comportamiento de un servicio que produce mapas georreferenciados.
- **19132 Servicios basados en ubicación – Modelo de referencia:** Define un modelo de referencia y un marco conceptual para servicios basados en ubicación (LBS), y describe los principios básicos por los cuales las aplicaciones LBS deberán operar.
- **19133 Servicios de rastreo y navegación basados en ubicación:** Describe los tipos de datos y operaciones asociadas a esos tipos, para la implementación de servicios de rastreo y navegación.
- **19134 Servicios basados en ubicación multimodales para ruta y navegación:** Especifica los tipos de datos y sus operaciones asociadas para la implementación de servicios basados en ubicación multimodal para ruta y navegación.
- **19142 Servicio de rasgos por internet:** Describe las operaciones (WFS Web Feature Service) del servicio de rasgos por WEB del OGC.
- **19143 Codificación de filtro:** Una expresión filtro es un constructo usado para restringir los valores de propiedad de un tipo de objeto con el propósito de identificar una materia de ejemplos de objeto a ser operada sobre el mismo en alguna manera.

Normas raster y de mallas

- **19115-2: Metadatos – Parte 2- Extensiones para imágenes y datos raster:** Define el esquema requerido para describir datos de imágenes y datos raster.
- **19121 Imágenes y datos raster:** Este reporte técnico revisa la manera en la cual los datos de rejilla y raster son actualmente manipulados en la comunidad

geomática a fin de proponer como este tipo de datos deberían ser apoyados por las normas de información geográfica.

- **19123 Esquema para cobertura geométrica y funciones:** Define un esquema conceptual para las características espaciales de coberturas.
- **19124 Componentes de datos raster y de imágenes:** Normaliza conceptos para la descripción y representación de datos raster e imágenes.
- **19129 Marco de referencia de datos de imágenes teselares y de cobertura:** Define el marco para datos de cobertura, raster e imágenes y aquellos elementos de los mismos que requieren normalización que no están identificados en otras normas de ISO 19100.
- **19130 Sensor y modelo de datos para imágenes y datos raster:** Especifica el contenido de modelos de sensor que describe las propiedades físicas y geométricas de cada clase de instrumento de percepción remota que produce imágenes.

Normas complementarias

- **19120 Normas funcionales:** En el contexto de este reporte se ha identificado una norma funcional como una norma de información geográfica existente, en uso activo dentro de la comunidad internacional. Este reporte busca identificar las componentes de esas normas funcionales reconocidas e identificar elementos que pueden armonizarse entre estas normas con las normas base de ISO.
- **19122 Clasificaciones y certificación de personal:** Norma el sistema para la certificación y cualificación por una organización independiente, de personal en el campo de la Información Geográfica/Geomática; delimita ambas materias, disciplinas y profesiones relacionadas; especifica tecnologías y tareas pertinentes; establece conjuntos de habilidades y niveles de competencia.
- **19126 Perfil – Diccionario de datos:** Especifica un perfil de ISO 19110, como base para el establecimiento de un registro de tipos de atributos y rasgos para la norma de intercambio de información geográfica digital.
- **19127 Códigos geodésicos y parámetros:** Define reglas para la población y mantenimiento de tablas de códigos geodésicos y parámetros e identifica los elementos de los datos requeridos en estas tablas, en cumplimiento con ISO 19111 y hace recomendaciones para el uso de las mismas.
- **19131 Especificaciones del producto de datos:** Describe los requerimientos para la especificación de productos de datos geográficos, basados en los conceptos de otras normas de la serie 19100 y ayuda en la creación de especificaciones de productos de datos.

- **19135 Procedimientos para registro de temas de información geográfica:** Especifica procedimientos para la preparación, mantenimiento y publicación de un registro o registros no ambiguos e identificadores permanentes asignados a temas de información geográfica.
- **19139 Metadatos – Implementación del esquema XLM:** Define la codificación (smXML) de metadatos espaciales, una implementación de esquema XML derivado de ISO 19115.
- **19140 Encomienda técnica para la serie de normas de información geográfica de ISO191** para la armonización y mejoras:** Son enmiendas técnicas a la serie de normas ISO 19100 para alcanzar armonización entre ellas.
- **19141 Esquema para rasgos de movimiento:** Define un método estándar para describir la geometría de un rasgo que se mueve como un cuerpo rígido.
- **19144-1 Sistemas de clasificación – Parte 1:** Estructura de sistema de clasificación: Especifica la estructura para un sistema de clasificación representado como coberturas discretas junto con el mecanismo de clasificadores de definición y registro.
- **19144-2 Sistemas de clasificación – Parte 2:** Sistema de clasificación de cobertura de la tierra: Especifica los criterios generales y estructura del sistema de clasificación de la cubierta de la tierra de la Organización de Agricultura y Alimentación de la ONU.
- **19145** Registro de representaciones de ubicación de puntos geográficos.

Se puede afirmar que la familia ISO 19100 es un trabajo inteligente de planificación y coordinación, desarrollado en el seno del Comité Técnico de Normalización 211 de ISO. Se trata de una obra internacional en la que participan centenares de expertos procedentes de muy diversas instituciones y empresas. Son documentos que ponen a nuestra disposición el consenso alcanzado por un amplio grupo de expertos e instituciones pioneras en la materia, de los que se puede aprender muchísimo. Además, en la actualidad, debido a su novedad, el conocimiento de las normas permite acceder a nuevas tecnologías, lo que abre posibilidades de innovación.

En el ámbito cartográfico desde hace varios siglos existen normativas, pero la apuesta realizada por ISO con la familia 19100 supone un notable cambio cuantitativo, cualitativo y de dimensión.

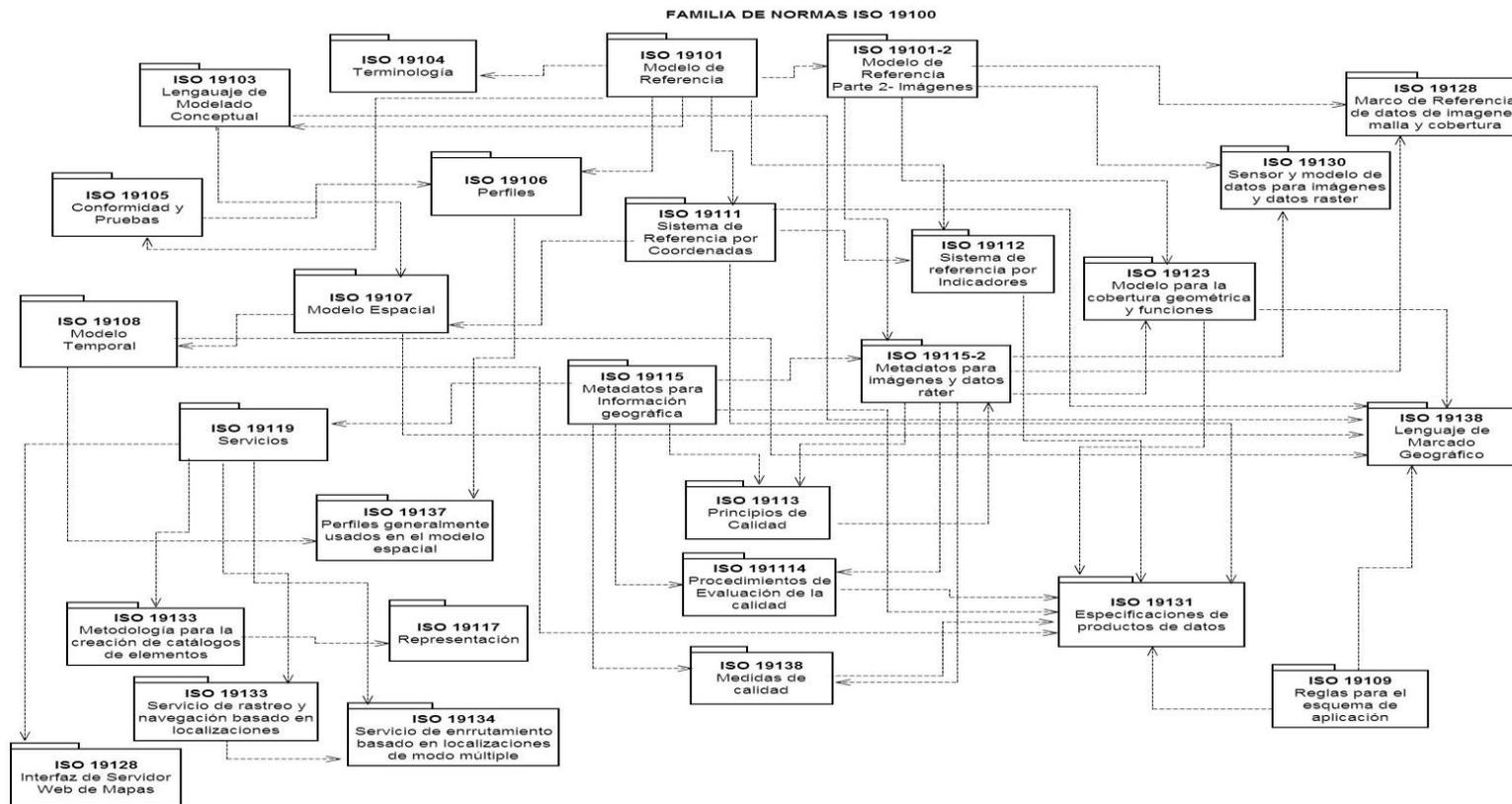


Gráfico 1.1. La familia ISO 19100

Fuente: Pina, A⁷., (2013).

⁷ Pina, A., 2013. “Marco ISO 19100”. Trabajo Práctico, Experto en Gestión de la Calidad de la Información Geográfica, Universidad de Jaén, Jaén, España

Calidad en la información geográfica

2.1.- Calidad e información geográfica

“...Se puede definir a la calidad de la información geográfica (IG) como el grado en que las propiedades de un producto geográfico satisfacen los requerimientos, necesidades y requisitos establecidos en las especificaciones técnicas...” (Lucas Martínez, J.L; Rodríguez Pascual, A. F., 2004)⁸

El propósito de estudiar la calidad de la IG es permitir a las organizaciones productoras de información geográfica describir en qué medida sus productos se ajustan a sus especificaciones, y a los usuarios definir sus requisitos de la misma forma.

Para evaluar la utilidad de los datos geográficos para unos requisitos concretos, primero es necesario considerar las especificaciones que se derivan de esos requisitos, y después, es necesario considerar su comportamiento real con esas especificaciones.

Dentro de la familia de normas ISO 19100 se encuentran normas que establecen los principios básicos, conceptos, modelos y metodología general para determinar y describir la calidad de un conjunto de datos geográficos. Estas normas definen en particular los elementos generales de calidad de la IG (descriptivos y cualitativos) y los elementos de calidad (cuantitativos)

Los elementos generales de la calidad, son componentes no cuantitativos de carácter general, que documentan la calidad de un conjunto de datos, como el propósito, el uso y el linaje.

Los elementos de calidad, son aspectos de la calidad de los datos que pueden ser medidos cuantitativamente. El propósito de estos elementos es identificar las inconsistencias de un conjunto de datos con respecto a sus especificaciones de producto. Los elementos de calidad usados, entre otros, son la exactitud posicional, temática y temporal.

2.2.- Normas ISO para la determinación de la calidad en la información geográfica digital

En la familia ISO 19100, las normas que abordan la calidad de una manera específica son:

- **ISO 19113:** Información Geográfica – Principios de la calidad.

⁸ Lucas Martínez, J.L. ; Rodríguez pascual, A. F., (2004) “La calidad de la información geográfica de productos vectoriales del IGN”. *En VII Congreso nacional de Topografía y Cartografía*

- **ISO 19114:** Información Geográfica – Procedimientos de evaluación de la calidad.
- **ISO 19138:** Información Geográfica – Medidas de la calidad.

Estos tres documentos presentan un objetivo común: normalizar los aspectos relativos a la identificación, evaluación y descripción de la calidad de la IG, con el fin de dar transparencia y posibilidad de comparación, evitar informaciones ambiguas y facilitar la elección y uso adecuado de los productos. Es decir, se trata de unas normas que pretenden facilitar el entendimiento inequívoco entre productores y usuarios de este tipo de información, facilitando la comercialización, difusión y el uso eficientes de la IG.

Informar sobre la calidad supone:

- Identificar los factores relevantes: Sobre qué informar.
- Evaluar con métodos adecuados: Cómo evaluar cada factor.
- Cuantificar adecuadamente y de forma comparable: Qué medidas usar.
- Describir adecuadamente todos los aspectos: Cómo informar (estructura, reglas).

Lo anterior permite al productor establecer unas especificaciones de la calidad claras para sus productos e, igualmente, validarlos frente a esas especificaciones.

De manera similar, para el usuario disponer de información relevante sobre la calidad de unos datos geográficos significa poder seleccionar los productos y servicios según sus necesidades.

“...Estas tres normas se conforman como un grupo consistente pero también presentan una estrecha relación con otras normas ISO, tanto de su propia familia (ISO 19115, 19131), como de otras familias (ISO 2859 e ISO 3951)...” (Del Río Marceau A., 2009)⁹.

2.2.1.- ISO 19113: Principios de calidad

El objetivo de esta norma internacional es proporcionar principios para describir la calidad de los datos geográficos y conceptos para manejar la información de calidad de estos datos.

La norma es aplicable a:

- Los productores de datos que proporcionan información sobre la calidad para describir y evaluar el grado en que un conjunto de datos cubre su representación del universo de discurso especificado en el producto, formal o implícito.

⁹ Del Río Marceau, A. (2009). “Normas ISO para la determinación de la Calidad de la información geográfica digital”. En *Mapping Interactivo*, Núm. 131, pp. 87-90.

- Los usuarios de datos que intentan determinar si realmente los datos geográficos específicos tienen la calidad suficiente para su uso particular.

Para la obtención y comercialización de productos cartográficos digitales que realmente satisfagan las necesidades de los usuarios, se crea la necesidad de conceptualizar, medir y gestionar diversas componentes de la calidad del dato geográfico a lo largo de los procesos de la producción cartográfica. ISO 19113 establece que la descripción de la calidad de una BDG puede realizarse mediante:

1. Componentes cualitativas:

- Propósito
- Uso
- Genealogía o linaje

2. Componentes cuantitativas:

- Exactitud posicional
- Exactitud temática
- Completitud
- Consistencia lógica
- Exactitud temporal

Las componentes cualitativas del dato geográfico permiten disponer de abundante información acerca del producto. Esta información debe ser clara, explícita y exhaustiva, de manera tal que permita al usuario una evaluación de la idoneidad del producto frente a sus requisitos concretos.

El propósito describe las razones para la creación de un conjunto de datos y contiene información sobre su uso previsto.

El uso describe las aplicaciones en las que se ha usado un conjunto de datos, por parte del productor y de diferentes usuarios.

La genealogía o linaje se refiere al conocimiento de los procesos (fuentes, procesos de captura, métodos de análisis, sistemas de referencia, parámetros de transformación, de proyección, resolución de los datos, etc.).

Pero la calidad de un producto cartográfico no se debe determinar solamente a partir de esta información literal, hay aspectos del comportamiento de una BDG que pueden ser medidos.

Las componentes cuantitativas más tratadas tradicionalmente son, en primer lugar, la posicional y, posteriormente, la temática. Las demás presentan aún problemas como cierta ambigüedad, falta de métricas y métodos de medición, por ejemplo.

La exactitud posicional indica la cercanía de las posiciones de los objetos respecto a la posición verdadera (proximidad entre las coordenadas dadas y las reales). Se

reporta indicando el valor de un índice estadístico y el nivel de confiabilidad asociado a ese valor. Se puede establecer un criterio de pasa/no pasa de acuerdo con el uso que tienen los datos.

La exactitud temática se refiere a la exactitud de los atributos codificados en la base de datos. Indica la correspondencia entre los valores de los atributos de los objetos y los valores verdaderos. Fundamentalmente está relacionado con la tasa de error en los nombres de los objetos, sus códigos adjudicados, o en sus atributos cualitativos o cuantitativos. La consistencia de los mismos se puede establecer mediante índices de variaciones expresados en porcentajes.

La completitud es la relación entre los objetos presentes en la base de datos y el universo real. Indica tanto la ausencia (omisión) como el exceso (comisión) de objetos en la base de datos. Se reporta indicando la probabilidad de que existan cambios en el valor almacenado en un sistema.

La consistencia lógica se refiere a las leyes que se han de cumplir en cuanto a estructura, atributos, relaciones, etc.; a la ausencia de contradicciones en la base de datos, a su validez interna. Los errores de este tipo son principalmente posicionales y de generalización, que pueden incluso generar cambios en las relaciones topológicas entre elementos.

Las leyes de la topología son las que se han de cumplir desde un punto de vista de la geometría, mientras que desde el punto de vista de los atributos los valores deben estar dentro de un rango, coincidir con unos valores establecidos, debe de existir una codificación para la ausencia de valor y para valores nulos, existir consistencia referencial. No existe consistencia lógica en una BDG cuando se encuentran contradicciones lógicas entre los elementos contenidos en la misma.

Normalmente, este tipo de errores los detecta y corrige el sistema en fases de construcción de la topología. Los principales métodos para determinar estas inconsistencias son, por tanto, la inspección visual y los controles automáticos y semiautomáticos que brindan los software específicos para el tratamiento de la IG.

Desde un punto de vista mucho más aplicado y reducido, tal vez lo que más importa al usuario común sea la actualidad de los datos, es decir, la proximidad temporal entre su captura y elaboración con la situación actual. En este caso la actualidad del dato es su exactitud temporal.

2.2.2.- ISO 19114: Procedimientos de evaluación de la calidad

Con la finalidad de evaluar la calidad de un conjunto de datos, se deben usar procedimientos definidos de manera clara y congruente. El objetivo de la ISO 19114 es proporcionar directrices para los procedimientos de evaluación de la calidad para

datos geográficos conforme a los principios de calidad descritos en la ISO 19113. También incluye una guía para presentar un informe de calidad.

El siguiente listado especifica los pasos del proceso propuesto en la ISO 19114 para la obtención de los índices de calidad del producto:

- Paso 1: Identificar un elemento, un subelemento y ámbitos aplicables. De acuerdo con los requisitos de la Norma ISO 19113, se deben identificar el elemento, subelemento y ámbito de la calidad a evaluar. Esto se repite para todas las diferentes pruebas que sean requeridas por las especificaciones del producto, o los requisitos del usuario.
- Paso 2: Identificar una medida de calidad. Para cada prueba a desarrollar se debe identificar una medida de calidad, el tipo de valor y, si es de aplicación, la unidad de medida.
- Paso 3: Seleccionar y aplicar un método de evaluación de la calidad. Se debe seleccionar un método adecuado para la evaluación de la calidad para cada medida que se haya identificado. Para ello se establece una relación directa con las normas ISO 2859 e ISO 3159.
- Paso 4: Determinar el resultado de la calidad de los datos. El resultado de aplicar un método es un resultado cuantitativo, un valor, un conjunto de valores, una unidad de medida y la fecha de la prueba.
- Paso 5: Determinar la conformidad. Siempre que se haya especificado un nivel de conformidad para la calidad, bien en las especificaciones del producto o en los requerimientos del usuario, el resultado de la calidad se compara con aquél para determinar la conformidad. El resultado de la conformidad (cumple/no cumple) es la comparación del resultado cuantitativo de la calidad con el nivel de conformidad para la calidad.

En el caso de los resultados cuantitativos de la evaluación de la calidad, estos deben reportarse como metadatos de acuerdo con la norma de metadatos (ISO 19115). Por su parte ISO 19114 incluye un informe de evaluación de la calidad que debe usarse en los siguientes casos:

- Cuando los resultados de la evaluación de la calidad se informan en los metadatos usando el tipo “cumple/no cumple”.
- Cuando se generan resultados de evaluación del tipo agregado.
- Cuando se informa sobre la calidad de la calidad.

En cualquier caso se puede generar este informe, siempre que se desee, para dar mayor información, pero nunca como sustituto del informe de metadatos.

2.2.3.- ISO 19138: Medidas de calidad

Para facilitar la comparación de la calidad de diferentes conjuntos de datos es fundamental que exista una comprensión uniforme de las medidas de calidad de los datos que fueron empleadas. El objetivo de la ISO 19138 es la normalización de los componentes y estructuras de las medidas de calidad de datos mediante la creación de un registro de medidas de calidad de datos usadas regularmente.

Los indicadores que se usan frecuentemente para estudiar los criterios cuantitativos de calidad son de dos tipos:

1. Indicadores estadísticos

- La desviación estándar
- El círculo de error probable
- El error medio cuadrático

2. Indicadores generales

- El porcentaje
- El valor absoluto
- La variable booleana

La norma proporciona un grupo inicial de medidas de calidad de datos basadas en estos indicadores, así como medidas múltiples definidas para cada subelemento de calidad de los datos, y la elección de cuáles usar dependerá del tipo de datos y el propósito.

Cada medida de calidad de los datos está descrita en la norma con los siguientes componentes técnicos:

- a. Nombre
- b. Alias
- c. Elemento de calidad de los datos
- d. Subelemento de calidad de los datos
- e. Medida básica de calidad de los datos
- f. Definición
- g. Descripción
- h. Parámetro
- i. Tipo del valor de calidad de los datos
- j. Referencia de la fuente
- k. Ejemplo
- l. Identificador

Teniendo en cuenta estos elementos y según las necesidades de cada usuario, se pueden definir nuevas medidas de calidad que podrán igualmente ser usadas en las pruebas a realizar.

2.2.4.- Procedimientos de muestreo para la inspección por atributos y variables (ISO 2859 e ISO 3951)

Es importante también tener en cuenta las normas ISO 2859 e ISO 3159 (a las cuales hace referencia la norma ISO 19114 de procedimientos de evaluación de la calidad de la información geográfica) dada la gran importancia de las mismas en el control de calidad de los procesos industriales así como su potencial de aplicación a la IG tal y como se constata en la norma ISO citada. Estas normas son aplicadas diariamente, desde hace décadas, en el ámbito industrial y son la base de lo que se denominan los procesos de aceptación por muestreo. Es decir, procesos en los que se toma la decisión de aceptar o rechazar un producto en función de que satisfaga o no unas especificaciones establecidas previamente, y en base a las conclusiones extraídas de un subconjunto o muestra. La aceptación/rechazo se realiza en un modelo estadístico en el que se asumen ciertos riesgos (riesgos de productor y de usuario), bajo el beneficio de evitar la inspección al 100%, pero con el claro objetivo de evitar que se transfieran elementos de mala calidad al siguiente eslabón de la cadena, ya sea un cliente interno o externo.

El propósito de estas normas es estimular a los proveedores para que, conociendo que se van a controlar sus suministros, mantenga una media de proceso como mínimo tan buena como la especificada, a la vez que proporciona un límite superior para el riesgo del cliente a la hora de aceptar un lote deficiente. Ambas normas pueden servir de referencia para definir o especificar productos y/o procesos en lo relativo a su comportamiento respecto a la calidad tanto en contratos, instrucciones de inspección o cualquier otro documento.

Las normas ISO 2859 e ISO 3951 establecen los denominados planes de muestreo para la aceptación. Los planes de muestreo recogidos pueden ser de aplicación a elementos finales, componentes y materias primas, actividades, materiales en proceso, existencias de almacén, operaciones de mantenimiento, datos o registros, procedimientos administrativos, entre otros; por lo que se entiende la importancia de conocer y aplicarlas en el sector cartográfico.

ISO 2859 hace referencia a los procedimientos de muestro para la inspección por atributos, mientras que ISO 3951 lo hace para la inspección por variables.

Son variables las características susceptibles de ser medidas sobre una escala continua, por ejemplo, un error cuya dimensión ha sido mensurada, como es el caso de la longitud de los lados de una hoja de papel respecto al tamaño nominal para ese formato, o una discrepancia posicional entre un punto de control y su homólogo en la BDG.

Se denominan atributos las características cuya consideración hace que una unidad pueda ser clasificada como “buena” o “defectuosa”. Los ejemplos de este caso son

numerosos: el cumplimiento de una relación topológica, la presencia de una arruga en el papel sobre el que se imprime un mapa, etc.

La inspección del 100% de todos los elementos de un conjunto garantizaría la detección de cualquier elemento defectuoso, pero esta manera de actuar es cara y, a veces, imposible de realizar. Frente a la inspección al 100% se tiene la opción de la inspección por muestreo, que es más económica, y se realiza sobre una muestra representativa de la población. De esta forma, mediante el análisis de las propiedades en un número de elementos, se decide sobre la aceptación o no del conjunto de artículos que conforman la población. Para que la decisión de aceptación/rechazo sea la más acertada posible se establecen exigencias tanto sobre la población como sobre la muestra. La población se denomina en este caso lote. Un lote es un conjunto de elementos producidos bajo unas condiciones homogéneas.

2.3.- Calidad en bases de datos geográficos digitales

“...Una base de datos geográfica digital (BDGD) es un conjunto de capas de datos geográficos que se encuentran en formato digital...” (Castillo Villanueva, Iturbe Posadas., 2006)¹⁰.

Cada capa de datos representa elementos de la superficie terrestre delimitados en tiempo, territorio y descripciones cuantitativas y cualitativas a partir del objetivo del proyecto SIG (Sistema de Información Geográfica). Es a partir de éstas o bien, un conjunto de datos geográficos, que se aplican diversos procesos de manejo, análisis y modelación con el fin de resolver un problema determinado.

Para estar en capacidad de aplicar procesos de manejo y análisis sobre las BDGD se deben cumplir una serie de requisitos.

La base de datos debe ser construida bajo un determinado modelo de datos geográfico SIG (ej. vector), una estructura particular (ej. Estructura georelacional) y una serie de consideraciones geográficas y cartográficas.

Estos elementos son los que definen cómo debe ser construida una base de datos geográfica digital.

Cuando las BDGD no se construyen bajo premisas y especificaciones que dicta la lógica geográfica, la tecnología de sistemas de información geográfica y ciertas especificaciones cartográficas, derivan en la imposibilidad de realizar análisis espaciales básicos, complejos y procesos de modelación. Además, se tiene el riesgo de obtener

¹⁰ Castillo Villanueva L., Iturbe Posadas A. (2006) “Calidad de bases de datos geográficos digitales”, *Caos Conciencia* Vol. 1, pp. 42-49

resultados imprecisos y erróneos y los problemas potenciales cuando esos resultados son empleados para resolver un problema territorial.

En la construcción de una BDGD existen tres estructuras:

1. CAD o de diseño asistido por computadora. Los elementos geométricos relativos a puntos, líneas y polígonos no guardan reglas topológicas y su creación obedece más a cómo se dibujarán de forma manual.
2. Georelacional, en la cual los puntos, líneas y polígonos guardan una lógica geográfica y se tiene una base de datos de atributos asociados interrelacionada.
3. Geodatabase, que tiene como característica recrear con la mayor semejanza posible la realidad y dinámica geográfica; los elementos geométricos y sus atributos asociados están almacenados íntegramente en un sistema manejador de bases de datos.

La estructura georelacional dicta requisitos específicos para la construcción de capas de datos geográficos. Además, es importante recalcar el hecho de que la construcción de una BDGD para su manejo y análisis, debe recrear las leyes y la lógica geográfica existente en la realidad y respetar las reglas de conectividad y compartición entre los objetos geográficos.

Estas consideraciones forman parte del concepto de la calidad de los datos.

La calidad debe ser considerada desde las etapas iniciales en la construcción de un proyecto SIG. La calidad de los datos geográficos es un tema importante.

En la construcción de una base de datos geográfica digital, debemos tener presente las componentes de calidad del dato geográfico que son las que regulan y garantizan la calidad de la BDDG.

2.4.- Calidad del dato geográfico

“...El dato geográfico es toda información que nos permite conocer lo que ocurre en una determinada posición del espacio, de una determinada manera y en un tiempo...”
(Ariza Lopez F., 2000)¹¹

El manejo de los datos en la cartografía es bastante complejo, por ello existen muchas ocasiones de introducción y/o generación de errores (por ejemplo mal etiquetado, mala clasificación, mala codificación, etc.)

En el ámbito de la calidad, existen dos conceptos básicos: la exactitud y la precisión.

¹¹ Ariza Lopez F., (2000) “Las componentes de la calidad del dato geográfico”, *Mapping Interactivo*, Num 61 pp.12-30

La exactitud hace referencia a lo próximo que está el valor del real. El error puede considerarse como la inversa de la exactitud. La precisión hace referencia al número de cifras significativas decimales que se puedan observar, o sea a la posibilidad de medir pequeñas variaciones. La precisión puede considerarse como sinónimo de resolución es decir, la cantidad de detalle que vamos a tener en cuenta.

En la actualidad existen notables esfuerzos que pretenden establecer normas o estándares sobre la calidad de las BDG, y programas como, por ejemplo, IDRISI^(*) (software elaborado en la Graduate School of Geography de la Universidad de Clark, Massachusetts, U.S.A.), han adoptado, en parte, este tipo de información en sus formatos.

Se consideran cinco características o componentes de la calidad de los datos cartográficos digitales:

- Exactitud posicional. Hace referencia a la proximidad entre las coordenadas dadas y las reales.
- Exactitud del atributo. Similar a la anterior pero referida al valor del atributo del elemento geográfico. Existe mayor diversidad debido a que los atributos pueden ser categóricos o numéricos.
- Exactitud temporal. Se refiere a la discrepancia entre el dato codificado en la BDG y una coordenada temporal del mismo que nos sea de interés. La actualidad del dato es su exactitud temporal cuando la coordenada temporal de interés es la fecha actual.
- Consistencia lógica. Se refiere a la ausencia de contradicciones en la base de datos, a su validez interna.
- Compleción. Indica la ausencia de errores de omisión en la base de datos. La presencia de todos los objetos del mundo real en el modelo dependerá de la selección de temas y de reglas de generalización. La leyenda debe estar completa, sin elementos extraños, etc.
- Genealogía o linaje. Conocimiento de los procesos, fundamentalmente referido a las fuentes, procesos de captura, métodos de análisis, sistemas de referencia, parámetros de transformación de proyección, resolución de los datos, etc.

Se puede considerar la existencia de unas componentes más tradicionales de la calidad de los datos geográficos (posición y tema), y otras componentes, más modernas, sobre las que existe un menor desarrollo y grado de aplicación.

^(*) Aunque su nombre puede sonar como siglas, IDRISI fue nombrado realmente así en honor a Al-Idrisi, cartógrafo, geógrafo y viajero hispanomusulmán, que vivió a partir de 1099 a aproximadamente 1165. (Wikipedia – Enciclopedia Libre).

Este ámbito de estudio y aplicación no puede considerarse secundario, más bien todo lo contrario, dado que existe todavía gran dificultad no sólo de aplicación, sino también en la delimitación o definición de las propias componentes y métricas asociadas.

El dato se caracteriza por sus coordenadas (x, y, z) por sus atributos (a_1, a_2, \dots) , y por el tiempo en el que sucede (t_1, t_2, t_3, \dots) . Esto implica que una BDG no pueda quedar perfectamente descrita por un único índice de calidad/error; cada una de las componentes debe tener anexada una cuantificación de su calidad. Se puede hablar de vectores de error, cuyas tres componentes básicas son la posicional, la temática y la temporal. De esta manera se puede construir un elipsoide en el que los ejes variarán su longitud según el grado de inexactitud. Este elipsoide define una distribución tridimensional de las probabilidades relativas a la posición de exacta de un dato.

Finalmente, la determinación de la exactitud puede hacerse por diversos métodos matemáticos y estadísticos, pero que desde el punto de vista conceptual pertenecen a las siguientes clases:

- Estudio de la coherencia interna de la BDG. Se buscan posibles incoherencias en los datos.
- Comparación con las fuentes de la captura. Los datos se comparan con la fuente utilizada para su obtención.
- Comparación con fuentes de mayor exactitud. Basada en el control de los datos creados con fuentes más exactas.
- Evaluación de tipo deductivo. La estimación de tipo deductivo se refiere al uso de funciones de propagación del error para determinar los valores de exactitud de los productos finales obtenidos.

Calidad en productos cartográficos

3.1.- Calidad y productos cartográficos

El control de calidad de un producto cartográfico es una fase extremadamente importante algunas no veces llevada a cabo, a pesar de que en muchos países es obligatoria por ley. Una parte de culpa la tiene el productor, con su cultura, su creencia; otra los propios usuarios que muchas veces los consideran simplemente “geométricamente adecuados” a sus necesidades, desconociendo los riesgos que implica la toma de decisiones en base a productos de calidad desconocida o dudosa; y otra el propio Estado como entidad oficial y ente fiscalizador de la calidad de los productos y del cumplimiento de las normativas.

El establecimiento de normas, de estándares para el control de la calidad de los productos cartográficos, provoca serias discusiones y muchas veces resistencia entre los expertos del área en cuestión, los que argumentan que por un lado está la necesidad de representar lo más fielmente posible las características de la zona cartografiada, de manera que el producto cumpla con su función como tal, y por otro la de cumplir con las normativas.

Existe una creencia teórica, que el cumplimiento de las normativas trae aparejado tiempo y costo, la cual es errónea ya que está probado y verificado por numerosos trabajos de investigación teóricos- prácticos, que esto no es así. En este sentido las nuevas tecnologías, las herramientas informáticas, el personal capacitado en el manejo de las mismas, son la base para la elaboración de productos cartográficos de calidad, que cumplan con los estándares establecidos y con las normativas técnicas existentes, en menor tiempo y con menor costo.

3.2.- Control de calidad de productos cartográficos

La literatura existente aborda el tema de la calidad del producto cartográfico desde dos puntos de vista distintos, la del productor y la del usuario. Uno estaría dado por el riesgo del productor de rechazar incorrectamente un producto calificado o correcto y la otra la del usuario de aceptar un producto no calificado o incorrecto.

El productor controla, en la mayoría de los casos, cada una de las fases de la elaboración del producto, desde la recogida (captura) de los datos hasta la fase final de edición e impresión pero, a veces, no confronta los datos de campo con el material cartográfico producido. Le cabe al usuario confrontar la realidad del terreno con el producto y de esta forma no correr el riesgo de trabajar con datos de calidad dudosa. En este sentido

existen una serie de test estadísticos y procedimientos de campo, sencillos, fáciles de entender y de aplicar que ayudan al usuario y al productor responsable, a evaluar en forma global el producto final.

En el estudio de la calidad de un determinado producto cartográfico, analógico o digital, se pueden utilizar diferentes técnicas: estimaciones de experto, estudio de la coherencia interna, comparación con las fuentes, comparación con fuentes de mayor exactitud o mediante una evaluación de tipo deductivo.

Cuando se trata de un estudio sobre la calidad posicional, el análisis estadístico mediante la comparación con fuentes de mayor exactitud es la que ofrece una mayor rigurosidad en los resultados.

El comportamiento diferencial, en cuanto a la incertidumbre, de las componentes altimetría y planimetría, así como la probabilidad de que el producto sea meramente planimétrico (p.e. cartas catastrales) o altimétrico (modelos de elevaciones del terreno) hacen que los Métodos de Control Posicional (MCP) consideren, en su totalidad, de manera independiente la evaluación de ambas. Esta evaluación independiente conlleva a que los productos se evalúen solo en una de ellas o que, incluso puedan exigirse niveles o categorías de exactitud de cada una.

Por otra parte, en cuanto a la planimetría, entre los MCP también se distinguen dos formas básicas de trabajo: el análisis por componentes o un error global planimétrico (error circular). El caso altimétrico se trata siempre en forma lineal. En la mayoría de los casos la altimetría se considera independiente de la planimetría.

Por otro lado, *“...El auge de los Modelos Digitales de Terreno (MDT) o Modelos Digitales de Elevación (MDE) ha llevado a un especial interés en el control de estos productos, existiendo al momento, solo algunos métodos específicos de control y recomendaciones sobre métodos generales porque parte de organismos y programas para el control de este tipo de productos...”* (Ariza Lopez, Atkinson Gordo, 2006)¹².

En relación a la altimetría, resulta interesante destacar la opinión con respecto al tema de la precisión de las curvas de nivel de Miro Govedarica, 2011¹³.

“...Durante décadas se ha estudiado el problema específico de comprobar la precisión de las curvas de nivel, y sin embargo, no se ha encontrado ninguna solución general. La esencia del problema está en el deseo de comparar dos superficies mutuamente diferentes que tienen una estructura muy complicada y no están definidas en el sentido numérico continuo. La primera de ellas es la parte de la superficie física de la Tierra,

¹² Ariza Lopez F., Atkinson Gordo A, (2006), “Informe al CT-148 de AENOR: Metodologías de Control Posicional: Visión General y Análisis Crítico”

¹³ Miro Govedarica; Mirko Borisov, (2011) “The Analilysis of Data Quality on Topgraphic Maps”. In Geodetski vestnik 55/ 4

que tiene muchos detalles y está diseñada para reducir la escala del mapa observado (aproximadamente), y la otra es una superficie adoptada como representación condicional de la tercera dimensión usando líneas de contorno. En otras palabras, las curvas de nivel pueden ser incorrectas en diferentes formas en relación con la curva natural real...”

En la actualidad existe otra alternativa de verificación de la exactitud posicional mediante el estudio de lo que ocurre sobre elementos de una geometría más compleja como son las líneas. “...El elemento base para entender esta nueva aproximación al problema es el concepto de banda de indeterminación. Esta banda describe el grado de incertidumbre que existe alrededor de cualquier segmento del que se conocen las elipses de error de sus extremos...” (Mozas Calvache, A. T. y Ariza López, F. J., 2008)¹⁴

3.3.- Control de calidad de mapas topográficos clásicos

La calidad de los mapas topográficos clásicos incluye tanto la precisión geométrica cómo la fidelidad temática de su contenido cartográfico.

En la determinación de la precisión geométrica (precisión cartográfica) se emplean, a saber, métodos de medición acompañados de test estadísticos comparativos. Se comparan los valores medidos en el mapa topográfico con valores verdaderos o supuestos verdaderos (datos numéricos obtenidos de una red posicional y de un modelo de elevación, datos numéricos de mapas a escalas mayores donde el error de posición de los elementos individuales puede considerarse despreciable en comparación a la diferencia de escalas cartográficas, datos numéricos de mediciones efectuadas con instrumental y metodología de mayor precisión en el campo). Estos métodos proporcionan una evaluación directa de la precisión de los mapas impresos, de los originales de reproducción, a diferencia del método experimental que considera y determina errores en ciertas fases del proceso de elaboración de mapas topográficos.

La precisión geométrica y la exactitud temática no son siempre suficientemente fiables, dependen en gran medida de la topografía, de los datos a cartografiar, de los métodos empleados en el proceso de captura de los mismos, entre otras cosas.

Es preciso aclarar, para evitar errores de interpretación, que en el ámbito de la calidad existen dos conceptos básicos a tener en cuenta: la exactitud y la precisión.

¹⁴Mozas Calvache, A. T. y Ariza López, F. J., (2008). “Principales métodos de control posicional por elementos lineales. Comparación mediante su aplicación a líneas sintéticas”. En GeoFocus N° 8, p. 187-204.

Varias normas definen la exactitud como la aproximación de los resultados de la observación o medida, cálculo o estimación, respecto a los valores reales (verdaderos) o aquellos que se consideren como verdaderos, que puede ser obtenido de una media de observaciones o por métodos considerados más precisos.

Desde el punto de vista estadístico, la precisión es una medida del agrupamiento de los datos obtenidos por repetición de una misma medida. La precisión sólo se ve afectada por la componente aleatoria, no tiene en cuenta los valores sistemáticos y por lo tanto no guarda relación con el valor real. Unos datos pueden ser muy precisos, con poca varianza, pero poco exactos, es decir, alejados del valor real (sesgados).

Si se busca la exactitud posicional, el procedimiento se dirige a la comprobación de la desviación o error entre la posición del objeto geográfico en el mapa y su verdadera posición geográfica en el territorio, a esto se lo denomina exactitud posicional absoluta. Cuando la comprobación se refiere a la desviación o error posicional entre varios objetos geográficos se denomina exactitud posicional relativa.

Existen dos parámetros asociados a la exactitud posicional sea cual quiere su tipo. En primer lugar, la desviación, que hace referencia a las discrepancias sistemáticas entre la posición representada y la real en el territorio. Este parámetro debe tender idealmente a un valor igual a cero, lo cual significa que no existen discrepancias entre la posición real y la representada. En segundo lugar, se halla la precisión, que se refiere al nivel de definición posicional conseguida, es decir, cuánto se ha podido acercar en la indicación de esa localización.

3.3.1.-Precisión geométrica

Como se expresó anteriormente, desde siempre existió una constante preocupación de diversas organizaciones nacionales e internacionales en el campo de la cartografía, topografía y fotogrametría para el establecimiento de unas normas claras que permitan definir y controlar la precisión espacial de un mapa topográfico y en especial de un mapa de gran escala (1:10.000 o mayor). Esta preocupación no es sólo de estos organismos, también lo es de los productores de mapas que deben cumplir unas normas de precisión y de los usuarios de los mapas que necesitan confiar en las precisiones que se dan.

La idea fundamental consiste en asignar a cada tipo de mapa un parámetro de precisión o calidad según el objeto para el que ha sido confeccionado. Los valores de este parámetro deben indicar los límites de las posibles diferencias existentes entre la geometría del mapa y la realidad del terreno que representa.

Según Sevilla de Lerma¹⁵, 1999:

¹⁵ Sevilla de Lerma M., (1999) “Criterios de precisión cartográfica”, CT Catastro, Vol. 8, Num. 8, pp.12-20

“... Los criterios de precisión de un mapa deben establecerse en términos de conceptos de errores entendibles y cuantificables por los usuarios y por los productores de mapas. Así mismo, deben ir acompañados de un claro procedimiento de verificación del producto final, y todo esto ha de estar basado en teorías matemáticas precisas. Un amplio consenso entre todas las partes implicadas es necesario para que los criterios o normas que se establezcan y los métodos de verificación sean asumidos y aplicados sin restricciones...”

Normalmente los criterios de precisión se establecen en el sistema de referencia y datum del terreno, es decir en escala real. Un buen parámetro en función del cual pueden establecerse los criterios o normas de calidad es el error medio cuadrático de la magnitud considerada, que tendrá en cuenta todos los errores cometidos en el proceso cartográfico.

Para mapas o cartas topográficas de gran escala, los criterios de calidad se referirán fundamentalmente a los errores en las coordenadas planimétricas X e Y y en la coordenada altimétrica Z, pues estos datos siempre son conocidos y muy utilizados en aplicaciones de ingeniería y catastrales. Además, estos datos pueden deducirse fácilmente a partir de la información dada por el mapa, y esto lo puede hacer, también con cierta facilidad, cualquier usuario. Los criterios sobre errores en otras magnitudes tales como distancias, áreas y volúmenes pueden establecerse a partir de los errores en coordenadas.

La precisión planimétrica de un mapa queda definida por un número que indica el error medio cuadrático de las coordenadas horizontales (X, Y) y que se interpreta como el error medio cuadrático de las diferencias entre las coordenadas horizontales de un punto (X^m , Y^m) en el sistema del terreno obtenidas a partir de datos del mapa y las coordenadas (X^t , Y^t) del mismo punto en el terreno obtenidas por levantamiento de precisión. Se supone que los errores en las coordenadas X e Y, son estadísticamente independientes e iguales, por lo que un solo valor del error medio cuadrático sirve para ambas coordenadas. Este valor se lo designa como σ_0 .

El control planimétrico consiste en comprobar que este límite de precisión es efectivamente alcanzado en la realidad. Esto quiere decir que si de un mapa aceptado con una precisión σ_0 se extraen las coordenadas X o Y de un punto y se las transforma al sistema del terreno, las diferencias con las coordenadas verdaderas del punto están estadísticamente por debajo de σ_0 con una probabilidad dada de antemano (por leyes empíricas de la estadística, se puede afirmar que el 68,3 % están por debajo de σ_0 y el 99,7 % por debajo de $3 \sigma_0$, aunque estos límites se especificarán en cada caso concreto).

El límite σ_0 debe estar relacionado, entre otras cosas, con la escala del mapa; por ejemplo, unos valores de σ_0 que suelen utilizarse como referencia son los dados en la Tabla 3.1 equivalentes a 0,25 mm a escala del mapa

Tabla 3. 1: Precisión planimétrica – (Fuente Sevilla de Lerma, 1999)

Escala del Mapa	Desviación Típica (0,25 mm a escala del mapa)
1: 10.000	2,500 m
1: 5.000	1,250 m
1: 2.000	0,500 m
1: 1.000	0,250 m
1: 500	0,125 m
1: 200	0,050 m
1: 100	0,025 m

La precisión altimétrica se establece de forma análoga a la anterior pero para las altitudes obtenidas a partir del mapa (coordenada Z). Ahora bien, esta precisión hay que referirla a las curvas de nivel entre las cuales se interpolan las altitudes de los puntos del mapa. Entonces, la precisión altimétrica se define como el error medio cuadrático de la coordenada Z (con las discrepancias $Z^m - Z^l$). Este límite estará en relación con la separación de las curvas de nivel; suele utilizarse un valor que es aproximadamente igual a un tercio de dicha separación. Un ejemplo de valores propuestos se da en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Precisión altimétrica (Fuente Sevilla de Lerma, 1999)

Intervalo entre curvas de nivel	Desviación Típica (1/3 del intervalo de las curvas de nivel)
10m	3,04 m
5m	1,52 m
2m	0,61 m
1m	0,30 m
0,5m	0,15 m

Los límites de error establecidos aquí lo son para mapas de calidad superior, no obstante, en algunas aplicaciones basta con una calidad inferior, en estos casos los límites dados pueden aumentarse multiplicándolos por determinados valores derivados de criterios estadísticos.

Si nos referimos a la precisión cartográfica en los mapas topográficos clásicos en formato papel debemos tener presente que: *"... El error gráfico de $\pm 0,1$ mm constituye la mayor exigencia posible para la lectura a ojo desnudo de la carta y conviene a puntos importantes como son los sistemas geométricos de apoyo. Aceptando este valor como el error medio, la tolerancia correspondiente debería ser hasta tres veces más elevado con lo de acuerdo al cálculo de probabilidades*

estaremos dentro de un 99,7% de probabilidad de que se cumpla la tolerancia impuesta..." (Bartaburu¹⁶, S.G., 1994).

Esto es equivalente a lo que en la bibliografía clásica se conoce como a la "precisión cartográfica convencional", fijada en una tolerancia sobre el papel de 0,2 mm.

Un mapa pasa el control de calidad cuando los errores planimétricos y/o altimétricos no exceden los límites de error permitidos (σ_0^2) establecidos por criterios estadísticos. Si esto no ocurre el mapa debe ser rechazado.

Todo método directo de contrastar la calidad de un mapa por comparación de magnitudes obtenidas del mapa y del terreno estará basado en un muestreo de la zona representada, es decir, se deberá elegir un conjunto de puntos del terreno debidamente representados en el mapa. Estos puntos se denominarán "puntos de control", y su definición y establecimiento es de extrema importancia por la trascendencia que tendrán después.

Evidentemente, el contraste debe realizarse por métodos estadísticos, únicos que permiten obtener conclusiones con un nivel de confianza previamente determinado.

El control se hace de forma independiente para las coordenadas X, Y y Z, para X e Y se suponen los mismos límites de error (Tabla 3.1), por eso sólo hablaremos de la coordenada X y el proceso se repite para las coordenadas Y y Z (Tabla 3.2).

Para efectuar este control se elige en el mapa un conjunto de 20 o 25 puntos bien definidos, identificados en el terreno y uniformemente distribuidos por toda la hoja. Se calculan o determinan las coordenadas mapa X^m y las coordenadas terreno X^t de esta muestra de puntos y se calculan las discrepancias ΔX , y los parámetros media $\Delta\bar{X}$ y desviación típica de las discrepancias.

$$\Delta X = X^m - X^t$$

El valor medio de las diferencias, o media muestral, viene dado por

$$\Delta\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i$$

y la desviación típica (error medio cuadrático) por

$$S_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \Delta\bar{X})^2}$$

Los valores de las discrepancias ΔX_i constituyen los valores de la serie de observaciones (l_i) y los valores de la media $\Delta\bar{X}$ y varianza S^2 son los parámetros que se utilizan para realizar el contraste por aplicación de test de hipótesis estadísticos.

¹⁶ Bartaburu S.G, (1994), "La Carta Topográfica", p.22

En todos los casos se supone que la serie de observaciones está normalmente distribuida.

Estos valores de la media y del error medio cuadrático de las discrepancias son los que se utilizan para establecer el control de calidad de un mapa.

En primer lugar se ha de estudiar la presencia de sistematismos en la serie de discrepancias. Por consiguiente, se deben aplicar los test de la media de una población normal (μ).

Para averiguar si la precisión del mapa (precisión de la serie de discrepancias) es aceptable se debe contrastar la varianza por medio de los test de la varianza de una población normal. Interesa saber si la varianza del mapa es menor o igual que el valor σ_0 fijado por las normas de precisión del mapa, en cuyo caso el mapa es aceptable.

3.3.2. – Exactitud temática

Según Miro Govedarica¹⁷, 2011, “...*Es imposible encontrar una expresión matemática para la exactitud temática. Sólo el número de errores en relación con el número total de datos que se puede relevar, tales como nombres o signos en una sola hoja del mapa...*”

Desde el punto de vista de la calidad, la exactitud temática sería la exactitud de los atributos. La cuantificación de la exactitud de los atributos se separa, por lo general, en dos grupos. Un grupo para la exactitud de los atributos cuantitativos, que se determina mediante el error medio cuadrático (EMC) en un proceso muy parecido a como se trata la componente posicional, y otro grupo para la exactitud de nombres, códigos, o atributos cualitativos, para el cual se utilizan tasas de error medidas en proporciones, en porcentajes.

Por otro lado, si un mapa topográfico es obsoleto, anticuado, de contenido defectuoso o incorrecto, su calidad y utilidad disminuyen, ya que no muestra la realidad tal cual es, aunque a veces la muestre tal cual era. Por lo tanto, no se pueden establecer métodos de control de la exactitud temática, pero sí investigaciones científicas y prácticas con el fin de modernizar y mejorar el contenido de los mismos.

Cuando se trata de mostrar las formas de la tierra por su naturaleza, es decir el relieve topográfico, los mapas deben ser lo menos cambiantes posible en relación al mismo. Sin embargo, hay una variedad de cambios debidos a las actividades humanas (deforestación, minería, entre otras) y a la influencia de las fuerzas naturales (deslizamientos, erosión). Los cambios sustanciales son visibles con la aplicación de

¹⁷ Miro Govedarica; Mirko Borisov, (2011) “The Analilysis of Data Quality on Topographic Maps”. In Geodetski vestnik 55/ 4

métodos específicos de la topografía y la cartografía (relevamientos topográficos, relevamientos fotogramétricos, teledetección, por ejemplo).

Hoy en día existen cambios muy notables en la cobertura del suelo, que se producen cerca de lugares poblados. Las ciudades, las grandes infraestructuras de uso civil, producen cambios rápidos. Constantemente surgen nuevos asentamientos, los viejos asentamientos cambian de aspecto y todos esos cambios influyen en la fidelidad del contenido topográfico.

La exactitud temática en los mapas topográficos, especialmente en el contenido, es más alta en los mapas realizados por métodos topográficos directos, ya que se establece una conexión entre el cartógrafo como compilador de la situación original y el estado real en el campo. Por otra parte, los mapas topográficos derivados de otros de mayor escala presentan una degradación de exactitud temática como consecuencia directa de los errores de generalización y de omisión. Cuando se trata de mapas obtenidos a partir de otras fuentes cartográficas la calidad es incluso peor porque existe una cuestión de exactitud del contenido temático y de actualización de las fuentes cartográficas originales.

3.4.- Control de calidad de mapas topográficos digitales

Cuando se habla de la calidad de los mapas obtenidos mediante la digitalización de mapas topográficos existentes, se debe, por sobre todo, tener en cuenta que todos los datos ya han sido procesados.

Los errores en los mapas obtenidos por la digitalización de otros mapas, contienen tanto los errores de recogida y tratamiento de datos originales, como también los errores de transformación (digitalización, georreferenciación, vectorización). El factor limitante es, sin duda los errores originales de captura de datos.

La calidad de los datos de los mapas topográficos digitales depende de los datos originales, de las fuentes numéricas (listado de puntos geodésicos), del proceso de conversión analógico-digital y de los métodos de modelado y procesamiento de datos (sistema de visualización, las posibilidades técnicas y factor humano). Sin embargo, la calidad general, depende de la precisión planimétrica y altimétrica del contenido topográfico, y del grado de actualización del mismo.

El proceso de automatización utilizado para convertir datos analógicos a digitales debe asegurar la integridad de los datos originales o sea que en su paso del formato analógico al digital no se introducen distorsiones significativas con respecto a la calidad del material original.

También es importante asegurar que los cálculos u operaciones realizadas utilizando dichos datos no introducen errores mayores a los de los datos originales como consecuencia de la falta de precisión de la computadora.

La precisión de la posición de los objetos en los mapas topográficos digitales se determina en comparación con la red de control más cercana (puntos geodésicos). Se calculan los ECM de los objetos bien identificados (cruce de caminos, ferrocarriles, objetos religiosos, líneas eléctricas, de telecomunicaciones y otras instalaciones), los cuales no deben exceder un error máximo fijado en función de los errores medios de los datos originales y los errores de los procesos de conversión analógica-digital. La precisión posicional de otros elementos en los mapas topográficos digitales no se controla.

Los errores de deformación de la superficie de la hoja del mapa, se pueden minimizar, en gran medida, pero sólo bajo ciertas condiciones. De hecho, para detectar la deformación que se produce por transcurso del tiempo, es necesario que los puntos del mapa estén representados con coordenadas de referencia conocidas. Esto es especialmente importante en los casos de sistemas de referencia de carácter local, donde es necesario que haya una mayor cantidad de puntos con una distribución relativamente uniforme y densa sobre la superficie útil de un mapa. Sobre la base de las coordenadas teóricas conocidas de estos puntos y sus posiciones en el mapa, es posible determinar la deformación de la hoja del mapa. En los casos más favorables, los puntos representan los vértices de la red interna del mapa o cuadrícula.

Un problema adicional de la digitalización de una copia impresa existente (una fuente cartográfica) es que la actualidad de los datos puede ser cuestionable en relación con la situación real, ya que por lo general los mapas originales representan las situaciones de varios años, o incluso varias décadas de antigüedad.

Con respecto al tema planteado anteriormente, se considera conveniente, repasar algunas definiciones y conceptos básicos de digitalización, vectorización y georreferenciación.

- La digitalización es el proceso de transformación de información analógica (fotografía, carta, mapa, plano, etc.) a digital, la cual puede almacenarse en dos modelos de datos, vectorial (en el formato vectorial o formato CAD, los archivos contienen una descripción de la imagen expresada matemáticamente, a través de objetos geométricos: puntos, líneas y polígonos), o raster (el formato raster es un mapa BIT donde los archivos dibujan la imagen píxel a píxel, basándose en localizaciones). La digitalización puede ser manual mediante tableta digitalizadora o automática, mediante escáner, capturando automáticamente las características, texto y símbolos de la fuente gráfica.
- La vectorización es el proceso por el cual los píxeles adyacentes se estructuran en

líneas, generándose una imagen vectorial. La similitud de ésta con la carta original es función de la calidad gráfica y complejidad de la misma; pero suele ser un producto poco depurado, debido a las dificultades de separar las entidades de la carta entre sí (curvas de nivel, retículas, toponimia, cotas, rutas, red hidrográfica, tramas). La vectorización puede ser manual (método de pantalla), semi-automática (método interactivo) o automática mediante software específicos.

- La georreferenciación^(*) es el proceso mediante el cual se localiza geográficamente un objeto espacial. Esto se realiza asignándole coordenadas astronómicas o coordenadas geodésicas, en un sistema de referencia ligado a la tierra; el cual es aconsejable que sea de uso universal, no reconociendo fronteras de ninguna naturaleza.

Los métodos para transmitir, almacenar y procesar la información en formato digital pueden introducir errores en los datos. Las conversiones de escala y proyección, los cambios desde raster a vector, y la resolución del tamaño y profundidad del píxel, son ejemplos de los posibles errores inherentes al formato de los datos. Múltiples conversiones desde un formato a otro pueden crear un efecto similar a realizar copia tras copia en una máquina fotocopidora. Además, hay que tener en cuenta que los estándares internacionales para la transmisión, almacenamiento y recuperación de datos cartográficos no están totalmente establecidos, se encuentran en proceso de revisión.

En función a estas características, conviene establecer procesos que aseguren resultados válidos con respecto a las exigencias previamente establecidas. Esto implica prever la calidad de un producto, establecer la organización y los medios requeridos para un determinado nivel de calidad, analizar las posibles mejoras, y realizar un seguimiento posterior para comprobar la desviación con respecto a lo planificado.

3.5. - Control de calidad de productos cartográficos digitales

La puesta en órbita de los diferentes satélites a partir de mediados de los años 60 y principios de los 70, dio inicio a una tecnología innovadora que permite la captura de grandes volúmenes de datos, en formato digital, bajo nuevas nociones de resolución (temporal, espacial, espectral y radiométrica) y con posibilidades de aplicación multiescalar, técnicas que introdujeron cambios fundamentales en la cartografía, en la producción de productos cartográficos y en especial en la elaboración de mapas topográficos.

^(*) *Georreferenciación es un neologismo (vocablo, acepción o giro nuevo en una lengua). Es muy común encontrar la palabra escrita como georeferenciación, con un única r, pero es un error. En español las palabras compuestas cuyo segundo formante comienza por r, de manera que el sonido vibrante múltiple quede en posición intervocálica, se escriben con doble erre, por lo tanto la forma correcta es georreferenciación. (RAE- Real Academia Española, octubre 2012).*

Algunos usuarios, no expertos, de información espacial suelen confundir los términos resolución, detección y escala los que son utilizados prácticamente en forma intercambiable y normalmente hacen referencia a la calidad o contenido de información de los datos. Aun cuando los términos están asociados entre sí, no son intercambiables pues se refieren a diferentes propiedades o características de los datos.

La resolución se refiere al objeto más pequeño que se puede representar en los datos.

La detección expresa la capacidad del usuario para distinguir dos objetos en un producto analógico o digital; con frecuencia se asume como dos veces el valor de la resolución.

Finalmente la escala, representa la relación entre el tamaño de los objetos en el mundo real y su tamaño en un mapa analógico o digital. La resolución y la escala están íntimamente relacionadas pues el objeto o elemento más pequeño que se puede representar estará determinado por la escala a la cual se representa.

La imagen espacial de alta resolución tiene un alto potencial en la generación y actualización de cartografía dado su elevado nivel de detalle.

Una duda habitual de los técnicos y científicos que utilizan imágenes de satélite en sus proyectos es la relativa a la escala máxima de trabajo que una determinada imagen puede permitir.

El concepto de escala en cartografía está ligado a la cantidad de información contenida en el producto cartográfico, de modo que ésta aumenta conforme se reduce el denominador de escala. Sin embargo, aunque un determinado elemento (por ejemplo una ruta de acceso secundario) pueda estar presente en dos mapas diferentes, se espera que su localización (en coordenadas geográficas o coordenadas de proyección), sea más precisa en el de mayor escala.

La garantía de esta fiabilidad en la representación viene dada por la tolerancia, que limita el error de posición admisible sobre el papel. En consecuencia, para una determinada tolerancia, el error (en unidades del terreno) será menor cuanto mayor sea la escala.

En años recientes ha aparecido un grupo de estándares y recomendaciones de organismos internacionales que se liberan de la dependencia respecto de la escala sobre papel, dadas las especiales características de los productos digitales, y en concreto de las imágenes de satélite. El motivo de este cambio es la tendencia a utilizar los productos digitales en pantalla y por lo tanto la dependencia cada vez menor respecto de los productos en papel. Lo que pretenden estas nuevas aproximaciones al problema es proporcionar metodologías para estimar el error planimétrico, por un lado a través de la definición de estadísticos y por otro lado mediante criterios relativos a la calidad y distribución de los puntos de control (PC).

3.6.- Principales estándares y test de calidad internacional en cartografía para el control posicional

La mayoría de los estimadores establecidos en los estándares internacionales, están orientados a la evaluación de calidad posicional, de los resultados observados en planos impresos. El NMAS (National Map Accuracy Standard) especifica que los planos a escalas mayores que 1: 20.000 deben tener un error menor o igual para el 90% de las observaciones de 1/30 pulgada (0,85 mm) a la escala del plano impreso. Un estimador más ajustado a los procesos digitales es CMAS (Circular Map Accuracy Standard), el que especifica que un 90% de las observaciones deben estar en el rango de error de 1/47 pulgada (0,54 mm) a escala de mapa.

Similares aproximaciones pueden ser obtenidas del estándar de la ASPRS (American Society of Photogrammetry and Remote Sensing), quien establece sus márgenes de error según la escala de los planos.

Tabla 3.3. ASPRS – Requerimientos de exactitud cartográfica para una cartografía de clase I

Escala	RMSE límite en metros
1:1.000	0,25 m
1: 5.000	1,25 m
1: 10.000	2,50 m
1: 25.000	6,25 m
1: 50.000	12,50 m

Los límites para las categorías II y III se obtienen multiplicando los de la categoría I por dos y tres respectivamente.

En términos altimétricos se considera que el RMSE es de 1/3 del intervalo de la curva de nivel.

Sobre la “*precisión cartográfica convencional*”, fijada en una tolerancia sobre el papel de 0,2 mm, a la que se hace referencia en la literatura clásica, desafortunadamente no existen normas oficiales, o al menos claramente establecidas que aconsejen sobre su uso. La magnitud con la que razonablemente se debe comparar esta tolerancia es el EMC máximo en uno de los ejes del plano.

En años recientes ha aparecido un segundo grupo de estándares y recomendaciones de organismos internacionales que se liberan de la dependencia respecto de la escala sobre papel, dadas las especiales características de los productos digitales, y en concreto de las imágenes de satélite. El motivo de este cambio es la tendencia a utilizar los productos digitales en pantalla y por lo tanto la dependencia cada vez menor respecto de los productos en papel.

En este grupo se incluyen el NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy) de los EEUU. En el mismo se determina el valor de la exactitud relativa posicional, multiplicando el valor RMSE de la distancia entre los puntos testeados y su homólogo en un documento de mayor precisión, por un valor de 1,960 para la exactitud relativa vertical y 1,7308 para la horizontal, que representa el error estándar de la media al 95% del intervalo de confianza. Esto significa que el 95% de los puntos testeados tendrán un error con respecto a su posición tomada como verdadera, igual o mayor que el valor de exactitud reportado o calculado por $NSSDA_z$ (para altimetría).

La exactitud posicional puede estar referida a un estándar por lo que no existe una única definición sino más bien dependerá del hincapié que se le quiera dar a cada una de sus posibles aplicaciones.

Es usual definir la exactitud planimétrica por medio del error medio que presentan las coordenadas planimétricas X, Y de un punto en el producto final, respecto a sus propias coordenadas en terreno las que deberán estar referidas al mismo datum y proyección, ser obtenidas por métodos precisos y poseer errores menores a los exigidos en la cartografía. Se establece la premisa, basada en la forma de medición de las mismas, que los errores en ambas coordenadas son iguales por lo tanto puede tomarse un solo error medio para ambas. Si no se posee datos de terreno o de otra fuente de mayor exactitud se toman datos repetidos y se determina la precisión de estos.

Carl Koppe establece una relación empírica entre los errores medios horizontales y verticales:

$$RMSE_v = \pm (A + B \tan \alpha)$$

Donde:

A: termino independiente, RMSE vertical para puntos individuales y que dependen del tipo de levantamiento (un valor aproximado es 0,3 el intervalo entre curvas de nivel).

B: se corresponde con la exactitud horizontal de las operaciones de levantamientos e impresión (aprox. 0,2 mm).

α : Pendiente del terreno.

Los valores A y B se calculan de forma empírica para un mapa o una serie y depende de los métodos de levantamiento, existe una tendencia a medida que pasan los años a la disminución de ambos valores. Esto se debe a que los métodos actuales de levantamiento son cada vez más independientes del propio terreno, lo que lleva a pensar en una menor aplicación práctica de esta fórmula.

La siguiente tabla presenta las relaciones entre los RMSE verticales y el desplazamiento según la fórmula de Koppe para las escalas más usuales.

Tabla 3.4: Fórmulas de Koppe

Escala	Intervalo de curvas de nivel	RMSEv (m)	RMSEh (m)
1: 1.000	1	$\pm (0,1 + 0,3 \tan \alpha)$	$\pm (0,1 \cot \alpha + 0,3)$
1: 5.000	5	$\pm (0,4 + 3 \tan \alpha)$	$\pm (0,4 \cot \alpha + 3)$
1: 10.000	10	$\pm (1 + 5 \tan \alpha)$	$\pm (\cot \alpha + 5)$
1: 25.000	10	$\pm (1 + 7 \tan \alpha)$	$\pm (\cot \alpha + 7)$
1: 50.000	20	$\pm (1,5 + 10 \tan \alpha)$	$\pm (1,5 \cot \alpha + 10)$

En base a los estándares internacionales existe una serie de test para el control de la exactitud posicional.

Un resumen de los principales test se detalla a continuación: (*Fuente Atkinson Gordo. y otros, 2003 - "Los diferentes test para el control posicional en cartografía"*)¹⁸.

Test NMAS

1. Aplicaciones corrientes: está en uso desde 1947, su filosofía ha sido adoptada por muchas instituciones cartográficas.
2. Método de comparación: Fuentes de mayor exactitud.
3. Componente posicional: horizontal y vertical. No subdivide en X e Y. Interdependencia vertical – horizontal.
4. Clases de elementos: puntos.
5. Correspondencia con un estándar predefinida: se indica marcando si cumple o no.
6. Descripción: El test establece si el producto cartográfico, está o no, dentro de los límites de error predefinidos para las componentes horizontales y verticales del error posicional, este error se establece comparando las coordenadas de una muestra de puntos sobre una fuente de mayor exactitud.
7. Procedimiento:
 - a) Seleccionar sobre el producto una muestra de, al menos 20 puntos de fácil determinación.
 - b) Determinar las coordenadas de los puntos sobre el producto.
 - c) Determinar las coordenadas de los puntos sobre la fuente de mayor exactitud.

¹⁸ Atkinson Gordo, A.; García Balboa, J. L.; Ariza López, F. J. (2003) "Los diferentes test para el control posicional en cartografía" *Departamento de Expresión Gráfica*, Universidad de Extremadura, España.

- d) Determinar si el estándar predefinido de exactitud horizontal se ha alcanzado. Por ejemplo en el caso de USGS (United States Geological Survey), el estándar especifica que, como máximo, el 10% de los puntos de la muestra puede tener un error horizontal mayor de 0,08 cm, en mapas de escala mayor 1:20.000 o de 0,05 cm en mapas de escala 1:20.000.

Test EMAS (Engineering Map Accuracy Standard)

1. Es ideal para especificar la exactitud de los mapas topográficos a gran escala, esta norma fue creada por la American Society of Civil Engineers, en 1994.
2. Método de comparación: Fuentes de mayor exactitud.
3. Componente posicional: horizontal y vertical. X e Y separadamente. El error vertical y el horizontal separadamente.
4. Clases de elementos: puntos.
5. Correspondencia con un estándar de exactitud predeterminado: se basa en la hipótesis de límites aceptables para los errores aleatorios y sistemáticos. El estándar puede marcar los niveles aceptables de error y de confianza.
6. Descripción: Se calculan mediante estadística la existencia de desplazamientos (errores sistemáticos) y la variabilidad de la muestra. Para esto se utiliza independientemente las componentes X, Y y Z de al menos una muestra de 20 puntos de fácil determinación, se compara con una fuente de mayor exactitud.
7. Procedimiento:
 - a) Seleccionar una muestra de n puntos, con $n \geq 20$.
 - b) Calcular el error para cada punto en la componente X
 - c) Calcular el error medio en X para los n puntos
 - d) Calcular la desviación en la dimensión X
 - e) Efectuar el test t de cumplimiento del estándar utilizando los límites de error aceptables para los errores sistemáticos y aleatorios.
 - f) Efectuar el test de χ^2 para determinar el grado de variabilidad de los errores aleatorios: la base de datos cumple con el estándar para esta componente.
 - g) Determinar si el estándar predefinido de exactitud vertical se ha alcanzado. Se indica que el error en el 10% de la muestra puede tener un error vertical mayor de la mitad del intervalo entre curvas de nivel.

Test ASPRS

1. Aplicación: especifica la exactitud de los mapas topográficos a gran escala, 1989.
2. Método de comparación: con fuentes de mayor exactitud.

3. Componente posicional: X e Y separadamente, el error vertical y el horizontal separadamente.
4. Clase de elemento: punto.
5. Correspondencia de un estándar de exactitud predeterminado: para los mapas de mejor calidad (Clase I), se establecen límites al RMSE para las componentes X e Y según la escala del mapa (tabla 3.6). Para la altimetría el RMSE es de 1/3 del intervalo de las curvas de nivel, para la clase II Y III se obtienen los intervalos multiplicando los valores dados para la clase I por dos y tres según corresponda.
6. Descripción: Se calcula el RMSE para comparar los resultados con los valores tabulados. Se utiliza una muestra de al menos 20 puntos, se compara su ubicación con la fuente de mayor exactitud (puntos de terreno, por lo general).
7. Procedimiento:
 - a) Seleccionar una muestra de n puntos, con $n \geq 20$.
 - b) Detectar y corregir los errores previos de inconsistencias, signos, etc.
 - c) Calcular RMSE para cada componente.
 - d) Determinar si se encuentra dentro del estándar
 - e) Se debe indicar de forma escrita en la leyenda del producto si cumple o no con el estándar y para que clase.

Test NSSDA

1. Aplicaciones corrientes: son principalmente para datos cartográficos analógicos y/o digitales.
2. Método de comparación: emplea fuentes de mayor exactitud.
3. Componente posicional: analiza tanto la componente X e Y en forma conjunta, como la componente vertical Z.
4. Clases de elementos: puntos.
5. Correspondencia con un estándar de exactitud predefinida: basado en el RMSE de la muestra. El propio usuario o agencia es quien decide los umbrales de aceptación.
6. Descripción: con la obtención del RMSE para X e Y por un lado, y para Z por otro, calcula el error real de la muestra en función de un determinado nivel de confianza impuesto por el usuario (generalmente 95%). Este test nos muestra un índice de calidad de la cartografía en unidades reales sobre el terreno.
7. Procedimiento:
 - a) Seleccionar una muestra, de al menos 20 puntos perfectamente definidos sobre la cartografía y sobre la fuente de mayor exactitud.

- b) Detectar los errores previos de inconsistencia, signos, etc.
- c) Calcular el $RMSE_X$ y $RMSE_Y$ para las componentes X e Y.
- d) Calcular el $RMSE_{XY}$ para la componente posicional (XY)
- e) Calcular el coeficiente de exactitud posicional al 95% de confianza dependiendo de dos opciones: test t-student o test normal
- f) Calcular el $RMSE_Z$ para la componente Z.
- g) Calcular el coeficiente de exactitud posicional a un 95% de confianza para la componente Z: Exactitud Z
- h) Junto a la leyenda del mapa deberá aparecer el siguiente texto:
 - Comprobado para parámetros de exactitud horizontal al 95% de nivel de confianza.
 - Comprobado para.....metros de exactitud vertical al 95% de nivel de confianza.
 - Compilado para.....metros de exactitud horizontal al 95% de nivel de confianza.
 - Compilado para.....metros de exactitud vertical al 95% de nivel de confianza.

3.7.- Clasificación de los productos cartográficos según su exactitud posicional

Analizando textos realizados por diferentes instituciones, que determinan normas cartográficas y/o leyes nacionales, se observan distintos criterios de clasificación de los productos cartográficos.

Según el IPGH (IPGH, 1987), *“el criterio general de evaluación de mapas topográficos se divide en categorías alfanuméricas que expresan la evaluación en términos de precisión de la posición, actualización y presentación del contenido cartográfico”*.

Dicha clasificación, que es presentada a continuación, contempla que en la precisión horizontal debe considerarse el 90 % de las características bien definidas y en la precisión vertical el 90 % de todas las curvas de nivel y elevaciones interpoladas.

❖ Mapas topográficos:

- **Escala grande** (1:75.000 y más grande) y media (menor a 1:75.000 pero mayor a 1:600.000)

- **Clase A1** (excelente, adecuado)

Horizontal = 0,5 mm de su posición geográfica

Vertical = mitad del intervalo de curvas de nivel básico

Actualidad y presentación. (*)

- **Clase A2** (bueno, adecuado)

Horizontal = 0,5 mm de su posición geográfica
Vertical = mitad del intervalo de curvas de nivel básico
Actualidad y presentación

- **Clase B1** (bueno, utilizable)

Horizontal = 1 mm de su posición geográfica
Vertical = un intervalo de curvas de nivel básico
Actualidad y presentación.

- **Clase B2** (regular, utilizable)

Horizontal = 1 mm de su posición geográfica
Vertical = un intervalo de curvas de nivel básico
Actualidad y presentación

- **Clase C1** (malo, inadecuado)

Horizontal = 2 mm de su posición geográfica
Vertical = dos intervalos de curvas de nivel básico
Actualidad y presentación.

- **Clase C2** (malo, inadecuado)

Horizontal = 2 mm de su posición geográfica
Vertical = dos intervalos de curvas de nivel básico
Actualidad y presentación

- **Escala pequeña** (1:600.000 a 1:1.000.000)

- **Clase A** (bueno, adecuado)

Horizontal = 1,5 mm de su posición geográfica
Vertical = expresión adecuada de la naturaleza del terreno
Actualidad y presentación.

- **Clase B** (regular, utilizable)

Horizontal = 5 mm de su posición geográfica
Vertical = inexacta expresión de la naturaleza del terreno
Actualidad y presentación

- **Clase C** (malo, inadecuado)

No cumple las condiciones de la Clase A y B, ofrece información cultural incompleta, anticuada o relieve representado incorrectamente.

- **Escala pequeña** (menor a 1:1.000.000)

- **Clase A** (bueno, adecuado)

Información sobre relieve y cultural, corriente y completa para dicha escala.

- **Clase B** (regular, utilizable)
Información de relieve completa, pero información cultural anticuada.
- **Clase C** (malo, inadecuado)
Relieve incompleto o representado incorrectamente.

❖ **Mapas urbanos**

- **Clase A1** (excelente, adecuado)
Horizontal = 25 m de su posición geográfica
Vertical = mitad del intervalo de curvas de nivel básico
Actualidad y presentación.
- **Clase A2** (bueno, adecuado)
Horizontal = 25 m de su posición geográfica
Vertical = mitad del intervalo de curvas de nivel básico
Actualidad y presentación = requiere revisión.
- **Clase B1** (bueno, utilizable)
Horizontal = 50 m de su posición geográfica
Vertical = un intervalo de curvas de nivel básico
Actualidad y presentación.
- **Clase B2** (regular, utilizable)
Horizontal = 50 m de su posición geográfica
Vertical = un intervalo de curvas de nivel básico
Actualidad y presentación = requiere revisión.
- **Clase C** (malo, inadecuado)

(*) Actualidad y presentación: son presentados los diferentes niveles de actualización de los detalles culturales y planialtimétricos en las distintas clases:

- Clase A1 o B1 (no se requiere revisión): 90% o más.
- Clase A2 o B2 (se requiere poca revisión): 75% a 89 %.
- Clase C1 o C2 (se requiere una revisión mayor): 74% o menos.

La Legislación Cartográfica Brasileira, en su Decreto 89.817, Capítulo II de Junio de 1984; establece que las cartas en cuanto a su exactitud deben obedecer al PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica)¹⁹. “...*El mismo es un indicador estadístico de dispersión que corresponde al 90 % de probabilidad, que define la exactitud de los trabajos*

¹⁹ Decreto 89.817 “Padrão de Exatidão Cartográfica” http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm

cartográficos. Esta probabilidad de 90 % corresponde a 1,6449 por el error medio cuadrático (EMC) - $PEC = 1,6449 \times EMC...$ ” (Fuente: Quintino Dalmolin; Elvilázio da Mota Leal, 2001)²⁰.

Por lo tanto, los productos cartográficos se clasifican en Clases A, B y C, según los siguientes criterios:

- **Clase A:**

PEC - planimétrico = 0,5 mm en la escala del producto cartográfico, siendo de 0,3 mm el error medio cuadrático.

PEC - altimétrico = mitad de la equidistancia entre las curvas de nivel, siendo de un tercio de esta equidistancia el error medio cuadrático correspondiente.

- **Clase B:**

PEC - planimétrico = 0,8 mm en la escala del producto cartográfico, siendo de 0,5 mm el error medio cuadrático.

PEC - altimétrico = tres quintos de la equidistancia entre las curvas de nivel, siendo de dos quintos el error medio cuadrático correspondiente.

- **Clase C:**

PEC - planimétrico = 1 mm en la escala del producto cartográfico, siendo de 0,6 mm el error medio cuadrático.

PEC - altimétrico = tres cuartos de la equidistancia entre las curvas de nivel, siendo la mitad de esta equidistancia el error medio cuadrático correspondiente.

Los autores de la “Norma Cartográfica para la Provincia de Santa Fe²¹” sugieren adoptar el criterio de categorización brasileiro, Clases A, B y C por considerarlo de mayor simplificación lo que facilita su posterior control, pero observan la necesidad de modificar los valores de exactitud de la misma:

- **Clase A:**

Planimétrico = 0,3 mm en la escala del producto cartográfico

Altimétrico = mitad de la equidistancia entre las curvas de nivel.

²⁰ Quintino Dalmolin; Elvilázio da Mota Leal, (2001) Análise da Qualidade Posicional em Bases Cartográficas Geradas em CAD”. En *Boletim de Ciências Geodésicas*, Vol. 7, Num. 1, pp. 21- 40, Universidade Federal do Paraná, Brasil.

²¹ Universidad Nacional del Litoral – Servicio de Catastro e Información Territorial *Provincia de Santa Fe – Argentina*, (2004)

- **Clase B:**

Planimétrico = 0,5 mm en la escala del producto cartográfico.

Altimétrico = tres quintos de la equidistancia entre las curvas de nivel.

- **Clase C:**

Planimétrico = 0,8 mm en la escala del producto cartográfico.

Altimétrico = tres cuartos de la equidistancia entre las curvas de nivel.

Propuesta metodológica para el control de calidad de cartas topográficas

4.1.- El control de calidad de cartas topográficas

La mayor parte de los trabajos realizados hoy en día para evaluar la calidad de una carta o mapa se basan en la determinación de su precisión y tienen por objeto garantizar que la precisión ofertada por el mapa se cumple.

Existe una cantidad considerable de bibliografía donde se profundizan diferentes test estadísticos de control posicional, referidos al terreno y que son el fundamento de las bases cartográficas. Independientemente del test que se aplique, dada la importancia de este aspecto los métodos son siempre de carácter estadístico, ya que los mismos, son los únicos que permiten establecer niveles de confianza.

Ahora bien, si lo que se busca es controlar la calidad de cartas topográficas, el estudio no se puede limitar solo a la precisión o a los aspectos geométricos, porque la expresión final es gráfica cualquiera sea el soporte (papel, digital), y por se deben incluir también las soluciones estéticas.

Veamos algunas ideas básicas:

- Las cartas se hacen para ser vistas por un público amplio. En su confección hay que tener en cuenta las limitaciones del sentido de la vista, en especial la agudeza visual. Es inútil esforzarse en representar elementos o diferencias de tamaño entre tipos de rotulación que el ojo humano no distingue.
- Las cartas deben ser entendidas con facilidad, rapidez y seguridad. No puede haber en ellas simbolismos confusos, todo lo representado tiene que ser expresivo. La memoria es limitada, la capacidad retentiva visual no puede almacenar demasiados signos y sólo los identifica si hablan por sí mismos.
- Ninguna carta sirve para todo, ni excluye a las demás. Como consecuencia de este principio a la par que se deciden los accidentes que se representarán en el mapa, hay que admitir también que no serán todos, porque algunos no serían visibles.
- Las apreciaciones de las cualidades, que definen en conjunto la calidad de una carta tienen, por lo general, una dosis importante de subjetividad, ya que lo que resulta bueno para un tipo de usuario, puede carecer de interés para otro.

“...La capacidad real de evaluar la calidad de una carta topográfica, en su conjunto está reservada a pocas personas que tengan una formación técnica y estética adecuada...” (Bartaburu S.G., 1994)²².

Hablamos en estos casos de una calidad temática, cuyo control de calidad se realiza mediante comparación con fuentes de información más confiables.

Desde el punto de vista de la calidad, la exactitud temática sería la exactitud de los atributos. Esta componente temática es tratada, muchas veces, en la bibliografía en forma aislada o desligada de la precisión planialtimétrica.

La mayoría de los autores de trabajos en calidad de productos cartográficos, coinciden y reconocen que la componente temática no es exclusiva de las tradicionales cartas temáticas como lo era hasta hace poco tiempo, pues cualquier elemento que aparece representado en una carta topográfica pertenece a un tema con el cual se relaciona gracias a una leyenda, que va incluida, por lo general, en las informaciones marginales.

El control de calidad es un problema estadístico que debe ser analizado en forma global, y no se puede limitar solo a aspectos relacionados con la precisión cartográfica, con cuestiones puramente geométricas, ya que la expresión final es gráfica, y deben incluirse, por lo tanto en el mismo, los aspectos estéticos.

4.2.- Propuesta metodológica

El presente trabajo, se basa en la expresión final gráfica (soporte digital o papel), cualquiera sea la manera o forma en la que se la obtuvo (levantamientos regulares, digitalización, empleo de fotografías aéreas, imágenes satelitales, etc.).

Se definirán y enumerarán las variables que definen la calidad de una carta topográfica.

En el control de la precisión geométrica se emplearán test estadísticos de normalidad, homogeneidad de varianzas, se estudiará la presencia de sistematismos.

Para estudiar la calidad temática, se usarán técnicas de análisis multivariado con el objetivo de la expresar los datos como combinaciones lineales de las variables originales y reducir la masa de información a un nivel fácil de manejar con la pérdida mínima de información. Se diseñarán experimentos estadísticos para evaluar la efectividad del uso de las variables visuales.

El objetivo es poder demostrar, estadísticamente hablando, la importancia de ambas componentes en el estudio de la calidad de una carta topográfica, y obtener uno o más valores indicativos que contribuyan al establecimiento de criterios de calidad topográfica.

²² Bartaburu S.G, (1994), “*La Carta Topográfica*”, p.89

4.3.- Definición y enumeración de las variables que definen la calidad de una carta topográfica

Para definir y enumerar las variables que definen la calidad de la carta, hay que tener en cuenta, entre otras cosas, la precisión geométrica, las condiciones técnicas, los sistemas de expresión gráfica, los criterios de generalización, la armonía, en forma completa.

Para un mejor estudio se dividirá las variables en dos grandes grupos, cuantitativas y cualitativas.

Las primeras, la componente posicional, variable de tipo cuantitativo, que hace referencia a la exactitud planimétrica y altimétrica. Esta variable es un requisito indispensable de tratamiento en el análisis de calidad de una carta topográfica debido a su uso en trabajos de ingeniería, ya que de ella se desprenderán otras magnitudes derivadas, como distancias, áreas, volúmenes, y problemas relacionados con los atributos de dichas posiciones. Las segundas, desde el punto de vista de la calidad, forman la denominada componente temática y se refieren a la exactitud de los atributos cartográficos.

Se trabajará con ambas componentes, por considerarlas igualmente importantes. Primero se analizará, cada una de ellas por separado, para poder posteriormente relacionarlas y sacar conclusiones, con miras a encaminarse en la búsqueda de una metodología de evaluación de la calidad total de una carta topográfica.

4.3.1.- Variables de carácter cuantitativo. Componente posicional

La exactitud posicional hace referencia a la proximidad entre las coordenadas dadas y las reales. Se analizará para ello, la precisión espacial de la carta topográfica, con el objetivo de asignar a cada tipo de carta o mapa un parámetro de precisión o calidad según el objeto para el que ha sido confeccionado.

La precisión planimétrica de una carta topográfica en escala mediana, grande, se mide en términos del error medio de las desviaciones de los signos convencionales de implantación puntual o lineal, respecto de las posiciones correctas de los objetos que representan. El efecto total de los errores gráficos cometidos en las coordenadas planimétricas y altimétricas que definen la posición de un punto sobre la carta. (*Ver capítulo 3 – Precisión cartográfica*).

4.3.2.- Variables de carácter cualitativo. Componente temática (atributo cartográfico)

El atributo es la representación de una propiedad, cualidad o rasgo esencial de un objeto o entidad. La exactitud del atributo está referida al valor del atributo del elemento geográfico.

Los atributos se tomaran como variables categóricas ordinales, para resaltar los diferentes problemas en la variable analizada.

Para su mejor estudio, la dividiremos en tres grandes grupos:

1. Condiciones técnicas: en el caso de la cartografía, el establecimiento de criterios técnicos previos a la confección de una carta es absolutamente imprescindible.
2. Sistemas de expresión gráfica: su elaboración debe estar presidida por las posibilidades de la escala y por la idea cartográfica que se trata de desarrollar.
3. Generalización cartográfica: la composición de una carta requiere la elección de los objetos que valen la pena ser representados, eliminando aquellos que no sean de interés.

1. **Condiciones técnicas.** Variables a considerar: escala, proyección, condiciones geodésicas, metodología empleada en elaboración (levantamiento regular en el campo, digitalización, compilación, fotogrametría aérea, imágenes satelitales).

- La escala de una carta es la relación matemática entre las magnitudes lineales medidas sobre el dibujo y las correspondientes sobre el terreno. De acuerdo a la finalidad de la carta y la superficie a cartografiar, su correcta elección es fundamental.
- Las proyecciones son convenios matemáticos que permiten pasar puntos de la superficie terrestre considerada (esfera, elipsoide) al plano transformando las coordenadas geográficas en coordenadas planas por medio de fórmulas matemáticas que cumplen con determinadas condiciones. La elección de la misma, es importante para la adecuada representación de la zona a cartografiar.

En Argentina la proyección empleada en la cartografía oficial es la Proyección Gauss-Krüger⁽¹⁾

- La metodología empleada en la elaboración de la carta, es una variable importante a considerar.
 - Si se trata de levantamientos regulares en el campo, habrá que considerar, entre otras cosas, el instrumental usado en la captura de los datos, la metodología empleada en el levantamiento, las tolerancias y precisiones fijadas en la planificación del levantamiento, etc.
 - Si la elaboración proviene de una digitalización de un original, por ejemplo, habrá que considerar la forma en que se realizó (manual, automática), los errores propios de la metodología empleada en la digitalización, y si se conocen la calidad de los datos originales.

- Si hablamos de elaboración en base a fotografías aéreas o imágenes satelitales, habrá que considerar como variables las características técnicas de las mismas (escala, resolución, diferentes correcciones).
 - Las condiciones geodésicas son las que determinan las características fundamentales: el meridiano de origen de longitudes, el origen de las altitudes, el elipsoide, la posición del datum. Variable íntimamente ligada a los sistemas de proyección cartográfica, pero que debe ser analizada en forma separada. En toda carta las mismas deben estar presentes.
2. **Sistemas de expresión gráfica.** Variables a considerar: rotulación, abreviaturas, toponimia, variables visuales, símbolos convencionales, representación del relieve, informaciones marginales.
- Los muestrarios de rotulación de que dispone la moderna fotocomposición ofrecen una gran cantidad de modelos, pero los tipos elegidos deben ser lo bastante diferentes entre sí para que la rotulación adquiera valor de signo convencional.
 - La única justificación del empleo de abreviaturas es la falta de espacio; cuando este sobre, no son necesarias y es mejor no emplearlas, porque no se entienden tan claramente como parece.
 - La toponimia presenta un sin fin de problemas, porque todo lo que a ella se refiere es dudoso; es necesario la revisión de los topónimos utilizados con anterioridad, que puede conducir a modificaciones de posición, correcciones ortográficas, o cambios totales por mala interpretación previa, sobre todo en el nombre de parajes.
 - Las variables visuales son las componentes de identificación de la imagen cartográfica y se presentan en seis aspectos distintivos: forma, tamaño, orientación, color, valor y grano; que constituyen la base del análisis de la imagen cartográfica formada por signos.
 - Forma: su forma puede ser puntual, lineal o zonal.
 - Tamaño: en la carta topográfica el tamaño de los signos está relacionado con la escala, pero sobre todo, con la claridad exigible respecto de su finalidad específica.
 - Orientación: un signo puede cambiar su significado según como este orientado en su lugar de implementación aun cuando conserve su forma y su tamaño.
 - Color: el color es una variable intensamente perceptible por el ojo, y por lo tanto, es diferencial y selectiva.

- Valor: el concepto de valor se expresa, por la relación entre las cantidades de blanco y de negro sobre una superficie dada formando una escala progresiva y continua con una infinidad de grises intermedios entre el blanco y el negro.
 - Grano: el grano es la estructura o punteado de la parte interior del signo que le hace tomar aspectos diferentes según que esa estructura sea más o menos compacta por aproximación o por alejamiento de los puntos o líneas que rellenan su superficie.
 - Los signos convencionales⁽²⁾ facilitan la identificación sobre el dibujo de sistemas geométricos y fenómenos geográficos, cuya implementación en el dibujo es rigurosa, conforme a la escala de la carta y dentro de las limitaciones que impone el principio de generalización.
 - Los símbolos de implantación puntual requieren la utilización de figuras geométricas de pequeña superficie ubicadas en su verdadera posición sobre la carta; en los de implantación lineal, las líneas convencionales representan accidentes y se desarrollan longitudinalmente; los de implementación zonal, utilizan símbolos especiales para cubrir una determinada superficie caracterizando fenómenos de tipo extensivo.
 - La representación del relieve topográfico comprende el estudio de los procedimientos que permiten representar sobre las dos dimensiones del plano, fenómenos del espacio geográfico de tres dimensiones, como son las formas del terreno cuyas variaciones cuantitativas son de carácter continuo.
 - Un plano o una carta acotada provienen de la determinación de la posición planimétrica y de la cota o altura respecto de un plano de comparación, de una serie de puntos convenientemente elegidos en el terreno.
 - Las curvas de nivel, están formadas por la sucesión de puntos de la superficie terrestre que tienen igual altura sobre un plano de comparación que normalmente es el nivel medio del mar.
 - Las informaciones marginales, pueden ser muy variadas. Entre las informaciones posibles se destacan los gráficos de hojas colindantes, la relación con otras cartas, fiabilidad, procedencia, escalas gráficas y numéricas, meridiano de origen, datum, elipsoide, origen de altitudes, equidistancia, proyección, signos convencionales, fechas de actualización, publicación, información, etc.
3. **Generalización Cartográfica.** Variables a considerar selección, esquematización, armonización.

- La selección constituye el primer paso en el proceso de generalización y viene impuesta por la necesidad de construir una carta cuya claridad facilite su lectura.
- La esquematización en el proceso de generalización cartográfica, tiene que ver con la elaboración de símbolos y signos convencionales como primera etapa de programación de una carta.
- La armonización es la etapa final del proceso de generalización cartográfica y tiene por finalidad producir un adecuado equilibrio entre la representación gráfica de los detalles.

La elección de estas variables dependerá si se trata de levantamientos regulares, fotogramétricos, con imágenes satelitales, del soporte en que se encuentre la carta, entre otras. Se puede reemplazar algunas por otra en función de ello. Si se encontraran en soporte papel habría que tener en cuenta, por ejemplo, la calidad de impresión, el grado de actualización, etc.

4.4.- Matrices de datos. Metodología a emplear en el análisis de las mismas

Se recogerá la información necesaria y se formarán, para mayor comodidad en el análisis de la misma, dos matrices de datos, una con variables cuantitativas y otra con variables cualitativas. Ambas matrices serán analizadas por separado mediante técnicas de análisis multivariado con el objetivo de expresar los datos como combinaciones lineales de las variables originales y poder combinar posteriormente ambos tipos de variables.

“...La posibilidad de expresar los datos multivariados en combinaciones lineales de las variables originales, es quizás la herramienta más poderosa para realizar este tipo de análisis estadístico, el cual no es factible en el campo univariado. En un número reducido de combinaciones es posible sintetizar la mayor parte de la información contenida en los datos originales...” (Pina A., 2004)²³.

4.4.1.- Matriz de datos cuantitativos (Componente posicional)

La misma contará de 2 variables cuantitativas compuestas por las diferencias o discrepancias ($\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2$) y ΔZ_i^2 entre las coordenadas medidas en el terreno y en el mapa. Por lo expresado anteriormente la precisión altimétrica (discrepancias en la coordenada Z) se tomará como una variable cuantitativa analizada en forma independiente de la planimétrica. También se analizará de acuerdo con los resultados

²³ Pina A. (2004) “Calidad de una Carta Topográfica. Una aproximación estadística” – Tesis de Maestría – U.N.C. , Argentina

la factibilidad de establecer o no una precisión planialtimétrica, o precisión topográfica espacial.

Hablamos de precisión planimétrica y precisión altimétrica ya que para la confección de la matriz de datos cuantitativos, solo tendremos en cuenta la parte aleatoria de la componente posicional. Antes de formar esta matriz, habrá que estudiar la presencia, de valores atípicos, de sistematismos, para lo cual se aplicaran los test o contrastes de hipótesis para medias y varianzas, analizados en el *capítulo 3*.

Es sumamente importante para el análisis de la calidad del producto final en el soporte en que se encuentre, el estudio de los errores sistemáticos y su influencia. Para ello la estadística nos ofrece un variado número de test de muy fácil aplicación para el control estadístico de la precisión de un mapa.

4.4.2.- Matriz de datos cualitativos (Componente temática)

Esta matriz, contará de una serie de variables cualitativas como las enunciadas en los párrafos anteriores, divididas en grandes grupos.

Las mismas, serán tomadas como variables categóricas ordinales (0: mala, 1: regular, 2: buena, 3: muy buena).

Para el análisis e interpretación de los datos obtenidos se utilizarán técnicas de análisis multivariado. En principio este análisis ayudará a reducir la masa de información a un nivel fácil de manejar con la pérdida mínima de información.

Entre otras cosas, se realizarán análisis de conglomerados, estudios de correspondencia múltiple con el objetivo de buscar las relaciones de dependencia y forma de asociación entre atributos.

Por último se realizará un análisis de procusto^(*) que es esencialmente, un método para consensuar dos o más configuraciones, una obtenida mediante la utilización de una escala métrica cuyos datos de entrada serán las variables cuantitativas (componente posicional) y otra con una escala no métrica (variables cualitativas, componente temática); y de esta manera estudiar simultáneamente ambas componentes.

(Ver Anexo I).

Matemáticamente lo que buscamos es una medida de comparación, un valor cuantitativo. Se toma, como una medida de ajuste o acuerdo, entre las dos configuraciones, la suma residual de cuadrados.

^(*)El nombre de procusto (deformación de procusters en griego antiguo) hace alusión a un bandido posadero de la mitología griega, considerado hijo de Poseidón, famoso por hacer estirar los miembros de sus víctimas hasta que se alisaran para hacerlos aptos al tamaño de una cama de hierro. En general, cuando algo es procusto diferentes longitudes, tamaños o propiedades se ajustan a una norma arbitraria. (Wikipedia – Enciclopedia Libre).

4.5.- Antecedentes. Ejemplos de trabajos con aproximaciones estadísticas a la calidad de cartas topográficas mediante el uso de técnicas multivariadas

4.5.1.- Cartas topográficas en soporte papel. Escala 1: 50.000.

Con el objetivo de probar si el análisis multivariado era viable, en el control de calidad de cartas topográficas, entre en los años 2003 - 2004 se realizó un trabajo de investigación que culminó con una tesis de maestría en la cual se comenzó con aproximaciones estadísticas a la problemática de la calidad de cartas topográficas (Pina A, 2004)²⁴.

En esa oportunidad se trabajó con cartas a escala 1: 50.000, confeccionadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM) - hoy Instituto Geográfico Nacional (ING), por ley 12.696 "Ley de la Carta") y actualizadas, "con fines tributarios casi exclusivamente", por licitación pública del Gobierno de la Provincia de Córdoba - Dirección General de Catastro, a través de empresas privadas. UTE (Albano – Madero -Lanusse, Belaustegui – Telespazio), las que a tal fin, utilizaron imágenes de satélite Landsat del 17-01-92. Estas cartas se encuentran archivadas para su consulta en el Departamento de Cartografía de la Dirección General de Catastro de la Provincia y fueron las empleadas en el estudio.

En ese momento en particular, de las 290 cartas que cubren el territorio de la provincia de Córdoba, se consultaron en total 100 cartas abarcando con ellas diferentes zonas geográficas.

De la observación directa de la matriz de datos cuantitativos, se pudo verificar que aproximadamente el 90% de las cartas tenían una tolerancia gráfica planimétrica aceptable para puntos principales. No se obtuvo la precisión altimétrica, debido a que no se contaba con suficiente cantidad de puntos acotados y la licitación pública, citada con anterioridad, solo preveía una actualización planimétrica de las cartas.

Con la matriz de datos cualitativos, se realizó un análisis descriptivo y se confeccionaron tablas de frecuencia de problemas por variables (atributos) y por cartas (unidades muestrales). Se pudo verificar a través de la observación directa de las cartas que las condiciones técnicas: denominación de la carta, escala, proyección, condiciones geodésicas, respondían a un perfil óptimo, ya que, el levantamiento regular de las mismas fue hecho por el Instituto Geográfico Militar por ley 12.696, y responden a un Plan Cartográfico, muy bien programado. En lo que respeta a las variables visuales, la forma, el color, valor y grano, adquieren un sentido importante, no así el tamaño de las mismas, y la orientación, ya que el tamaño de los signos está relacionado con la escala, y con la finalidad de la carta, y si bien la orientación es importante, ya que un signo puede cambiar de significado de acuerdo a como esté

²⁴ Pina A. (2004) "Calidad de una Carta Topográfica. Una aproximación estadística" – Tesis de Maestría – U.N.C. , Argentina

orientado, las posibilidades de orientación son limitadas y dependen también de la finalidad de la carta. La variable visual forma y los signos convencionales de implantación, tomaron las mismas frecuencias, como era de esperar ya que los segundos son una aplicación directa de las variables visuales, y sus posibles combinaciones, siendo la variable más problemática, la relacionada con los signos de implantación zonal. Pudimos observar lo mismo en las variables visuales color, valor y grano. Distinto fue el caso de la representación del relieve topográfico donde la frecuencia de “problemas” fue mucho más elevada para los puntos acotados, que para las curvas de nivel. Esto puede deberse, a que solo se realizó una actualización planimétrica, no así altimétrica. En la generalización cartográfica se obtuvieron frecuencias distintas para la selección, esquematización y armonización, siendo la selección la más problemática.

Con la aplicación de los diferentes métodos de análisis multivariado se arribó a la conclusión de que la mayoría de los atributos no eran independientes entre sí. También se observó la importancia de considerar en el análisis ambas componentes, posicional y temática.

Por ser una primera aproximación, algunas variables, como las referidas, a la imagen satelital, no fueron tenidas en cuenta. Tampoco se tuvo en cuenta el tiempo transcurrido entre las diferentes actualizaciones que fue muy variado y muy dispar ya que no existían normativas claras para ese entonces. También fue un inconveniente, el hecho de que se trabajó en la mayoría de los casos con copias, no sobre los originales, y esto trajo como consecuencia problemas, entre otros de impresión que no fueron tenidos en cuenta ya que no aportaban a la problemática planteada que era el uso de técnicas estadísticas multivariadas en el control de calidad del producto final.

Como conclusión particular de ese estudio se sostuvo que, de tenerse presente una serie de requisitos básicos dentro de un marco de normativas cartográficas, un porcentaje considerable de las cartas observadas, no pasarían un control de calidad o al menos serían cuestionadas en cuanto a la calidad y validez de la información vertida en ellas, considerando que el 75% de las mismas manifiestan problemas con algunos atributos cartográficos, y que una parte de ellas poseía un error gráfico por encima de la tolerancia gráfica aceptable.

4.5.2.- Cartas topográficas en soporte digital. Formato vectorial (archivos de extensión CAD). Formato raster (archivos de extensión JPGF). Escala 1:50.000

En el año 2008 la cátedra de Cartografía del Departamento de Agrimensura, de Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, obtuvo hojas digitalizadas manualmente, del Registro Gráfico de la Provincia de Córdoba a escala 1: 50.000, en archivos de extensión DWG (archivos

CAD). En el año 2009 cartas digitalizadas de manera automática, mediante escáner, en formato raster (archivos de extensión JPGF), pertenecientes al Plan Cartográfico Nacional, cubriendo un 90% la provincia de Córdoba, elaboradas por el Instituto Geográfico Militar (hoy IGN) en la década del 60 - 70, como así también los archivos vectoriales de las mismas, (archivos CAD), producto de una vectorización manual con el software AutoCad, y actualización con imágenes satelitales. Las mismas fueron suministradas, con fines didácticos, por la por la Dirección de Catastro de la Provincia de Córdoba.

Durante el ciclo lectivo 2008, junto a los alumnos de la cátedra de Cartografía, se comenzó a estudiar la calidad de las hojas del Registro Gráfico de la Provincia de Córdoba, digitalizadas en forma manual, en formato vectorial (archivos CAD).

Se observaron 80 hojas. Se decidió trabajar solo con la matriz de datos cualitativos, formada con valores provenientes de una escala de apreciación cualitativa discreta, de los atributos. Esta decisión se tomó en base al hecho de que se trataban de hojas del Registro Gráfico, en las cuales tiene un peso mucho más importante la componente temática, que la posicional a diferencia de las cartas topográficas, pertenecientes al Plan Cartográfico Provincial, o Nacional o cartas topográficas aisladas.

Se realizó una estadística descriptiva, poniendo en relevancia la misma, que la mayor problemática estaba centrada en los signos convencionales de implantación lineal y zonal, y en la generalización cartográfica, donde se evidenció que la variable más problemática era la de selección. Esto se debió, tal vez, a la falta de experiencia de quien ingresó los datos, o a falta de criterios claros, acerca de la importancia de lo que se está digitalizando. No obstante, el peso de estas variables en la muestra fue algo muy llamativo, con lo que se concluyó que en que cualquier tipo de metodología que se utilice para verificar la calidad de cartas topográficas, las variables referidas a la generalización cartográfica deben estar presentes.

A pesar de ser un trabajo con fines sólo didácticos, las conclusiones a las que se arribó fueron muy interesantes. Se evidenció que la metodología basada en conceptos estadísticos puede dar muy buenos resultados cuando se la aplica adecuadamente.

Durante el ciclo lectivo 2009, junto a los alumnos de la cátedra de Cartografía, se comenzó a estudiar la calidad de las cartas topográficas digitalizadas en forma automática, del Plan Cartográfico Nacional, en su formato vectorial, (archivos CAD), a través de estadística descriptiva. Se trabajó con el producto final, el modelo vectorizado, en el confluyen dos problemas, el de la vectorización manual con software AutoCad y la actualización con imágenes satelitarias.

Se observaron 100 cartas. El trabajo se tornó muy complicado ya que la mayoría de las cartas observadas tenían graves falencias desde un comienzo: en la

denominación, en la rotulación, en las informaciones marginales, las actualizaciones eran incompletas, con falta de criterios unánimes para realizar las mismas, además con la sola observación visual, se detectaron problemáticas serias con el uso de las variables visuales, especialmente el color, los signos de implantación zonal.

Se intentó realizar una estadística descriptiva, pero dada la problemática planteada, no se pudo arribar a conclusiones significativas.

Todo esto nos sirvió para poner en relevancia la importancia de conocer la mayor cantidad de detalles referidos a las muestras con que uno va a trabajar, y de esa manera, evitar errores conceptuales, errores groseros, equivocaciones, por el mal uso de la estadística y de la interpretación de los resultados obtenidos sobre muestras atípicas, que se encuentran por debajo de los límites de normalidad.

4.5.3.- Conclusiones de la experiencia descrita en los diferentes trabajos

Aún falta mucho por estudiar, además en todos estos casos se trabajó con varias unidades muestrales, conformando muestras a veces bastante heterogéneas.

Lo que sí se puede afirmar, es que la propuesta metodológica es viable, no sólo para analizar la calidad de un conjunto de cartas pertenecientes a un plan cartográfico determinado, sino también para juzgar la calidad de cartas en forma aislada ya que el análisis multivariado es una herramienta válida para ello.

“... La medición de varias características de una misma unidad experimental, ya sea en forma simultánea o con ciertos intervalos de tiempos, genera una serie de datos que pueden deben ser analizados con técnicas multivariadas...” (Pla, L., 1987)²⁵.

Esto es lo que nos proponemos probar en este trabajo de tesis.

4.6.- Justificación de la propuesta metodológica

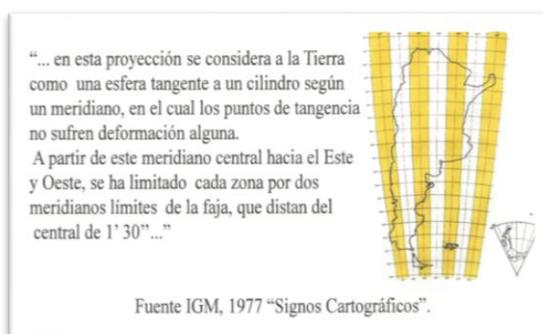
Tal como se planteó desde un principio, se sabe que, si bien el carácter intrínseco de los errores de la información geográfica, ya han sido tratados ampliamente en diversos trabajos, aún prima la confianza ciega de que los resultados obtenidos con esta tecnología, ya sea en formato digital o analógico, son buenos, debido a la apariencia visual de los mismos, algo que se reconoce insuficiente para juzgar la calidad de la información que se comunica, y esto se traduce en una ausencia de documentación que de fe de la calidad y restricciones del producto, debido a la carencia de una “cultura sobre los errores” en productores y sobre todo en usuarios.

²⁵ Pla L., (1987) “Análisis Multivariado: Método de componentes principales”, 89 p., Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico

Esta propuesta metodológica apunta a la problemática y estudio de la calidad del producto final, usando para ello, conceptos estadísticos modernos, cuyo desarrollo se ha visto favorecido, gracias a los adelantos tecnológicos y a nuevos y más potentes software.

La propuesta, además, se adapta coherentemente con lo establecido por el Comité Técnico ISO/TC 211 y su familia de normas ISO 19100, en los que se refiere a la determinación de la calidad de la información geográfica digital: ISO 19113: Principios de la calidad, ISO 19114: Procedimientos de evaluación de la calidad, ISO 19138: Medidas de la calidad. (*Ver capítulo 2*).

⁽¹⁾ La República Argentina ha adoptado como proyección para la cartografía topográfica de base oficial, la proyección denominada Gauss Krüger. La misma es una variación de la mundialmente conocida proyección UTM (Universal Transversal Mercator) manteniendo las propiedades de conformidad de ésta. Esta es una proyección cilíndrica del tipo transversa (perpendicular al Ecuador) y tangente es decir solamente hace contacto con la superficie terrestre en un solo Meridiano. El cilindro utilizado cubre la totalidad del país en sentido Norte-Sur pero es de limitado desarrollo longitudinal (Este-Oeste) abarcando solamente 3° (1° 30' a cada lado del meridiano de contacto), por esta razón se han utilizado 7 cilindros generando las "7 Fajas" que conforman la proyección en su totalidad. Cada una de estas Fajas hace tangencia en un meridiano diferente cubriendo de esta manera el país en su totalidad. (IGM Argentina, 1977).



⁽²⁾ Según el IGM en su publicación Signos Cartográficos (1977) en su sección Signos. Consideraciones generales

“..Constituye el elemento básico de la grafía cartográfica, para representar todos los accidentes naturales, obras de arte y elementos imaginarios del terreno. Para su empleo se tendrá en cuenta:

1. Se dibujará con las medidas que se establecen en este reglamento. Estas son de luz, sin incluir espesor de líneas.
2. Cuando por las dimensiones que el accidente tiene en el terreno, no permite dibujarlo a escala del dibujo, se lo representará con el signo correspondiente con las medidas asignadas en el reglamento. Si en cambio tiene representación a escala, se lo hará de acuerdo a su planta o por su signo, aumentadas sus dimensiones si corresponde.
3. Cuando un signo se aplica varias veces en una área determinada, como en el caso de bosque artificial, cementerio, ciénaga, etc., se distribuirá de acuerdo a lo indicado en la ilustración del respectivo signo.
4. Orientación es la dirección que se le da al signo con respecto al norte de cuadrícula.
5. Su representación en la carta podrá tener otra, por lo que en cada caso debe indicarse al describir el signo.
6. Todo signo tiene fijado un punto que se denominará Punto de Situación para señalar con él, la ubicación exacta del accidente cuando el mismo no tiene representación a escala del dibujo.
7. Las medidas del signo serán iguales para todas las escalas.
8. El signo que no figurara en una determinada escala, es porque no corresponde su representación
9. La distribución de ciertos signos como el de cultivo, monte artificial, etc., no responde a normas fijas por lo que el compilador, fijará en cada caso el criterio a seguir.
10. El desplazamiento de un signo solo se justificará cuando el espacio entre él y otro al cual está relacionado, dejen de tener representación a escala del dibujo.
11. Cuando un signo por sus dimensiones se superpone a otro, se desplazará aquel que le sigue en orden de importancia, pero respetando las normas cartográficas para su dibujo.
12. Cuando el dibujo de un signo reduzca el espacio libre que lo separa de otro, pero sin afectar la posición de este último, no se modificará la posición de cada uno, cualquiera sea la separación que resulte.
13. Cuando dos o más obras o estructuras no guardan entre sí una distancia mínima representable a escala, se ubicará en su exacta posición la de mayor importancia y se desplazarán las restantes, manteniendo la situación relativa.

14. Cuando se trate de obras agrupadas y de igual importancia, será norma fijar en su correcta posición la que ocupe la posición central, desplazando las restantes, manteniendo la situación relativa.
15. Todas las características particulares de un accidente no concretadas en el signo, se consignarán en la memoria geográfica.
16. El punto de situación de un detalle planimétrico quedará desplazado, cuando por razones de escala y de dibujo no puede conservar su posición real.
17. Cuando por razones de escala, no es posible consignar la totalidad de los detalles planimétricos existentes en un área determinada, se procederá a representar desde lo más a lo menos importante, eliminando aquellos que no son compatibles con la escala.

Nº	DENOMINACIÓN	ESCALA 1: 25 000 1: 50 000	ESCALA 1: 100 000 1: 200 000	ESCALA 1: 500 000 1: 1 000 000 Y MENORES	IMAGEN DEL SIGNO	DIMENSIONES (en mm)
1	CORRIENTE DE AGUA PERENNE 1) Dirección de la corriente. 2) Navegación.					
2	CORRIENTE DE AGUA INTERMITENTE					
3	CORRIENTE DE AGUA CÍCLICA 1) Corriente de agua intermitente.					
4	LECHO SECO					

Nº	DENOMINACIÓN	ESCALA 1: 25 000 1: 50 000	ESCALA 1: 100 000 1: 200 000	ESCALA 1: 500 000 1: 1 000 000 Y MENORES	IMAGEN DEL SIGNO	DIMENSIONES (en mm)
41	AUTOPISTA, CARRETERO PAVIMENTADO TOTAL CON SEPARADOR 1) Estación de peaje. 2) En construcción.					
42	CARRETERO PAVIMENTADO 1) En construcción. 2) Carretero de 40-60 metros. 3) Carretero de 60-100 metros. 4) Carretero de fuente.					
43	CARRETERO CONSOLIDADO, CARRETERO SIN PAVIMENTADO DE TRANSMISIBILIDAD PERMANENTE 1) De una traza. 2) Carretero de 40-60 metros. 3) Carretero de 60-100 metros. 4) Carretero de fuente.					
44	CARRETERO DE TIERRA, CARRETERO SIN PAVIMENTADO DE TRANSMISIBILIDAD TEMPORARIA 1) De una traza. 2) De una traza. 3) De una traza. 4) De una traza. 5) De una traza.					

Nº	DENOMINACIÓN	ESCALA 1: 25 000 1: 50 000	ESCALA 1: 100 000 1: 200 000	ESCALA 1: 500 000 1: 1 000 000 Y MENORES	IMAGEN DEL SIGNO	DIMENSIONES (en mm)
73	NEVE O HIELO PERMANENTE, VENTISQUERO, PLACER, PERPETUO 1) Espesores. 2) Con líneas de forma. 3) Rotunda o membrada.					
74	MACIZO ROCOSO, CUMBRE ROCOSA, ROCA O BLOQUE ERÁSTICO IMPORTANTE					
75	AFLORAMIENTO ROCOSO					
76	SALINA, SALAR, SALINERAL, SOBATERA					

Nº	DENOMINACIÓN	ESCALA 1: 25 000 1: 50 000	ESCALA 1: 100 000 1: 200 000	ESCALA 1: 500 000 1: 1 000 000 Y MENORES	IMAGEN DEL SIGNO	DIMENSIONES (en mm)
99	TERRENO PARA CULTIVO					
100	PLANTACIONES PERENNES					
91	VITEADO					
92	CAÑA DE AZÚCAR					

Nº	DENOMINACIÓN	ESCALA 1: 25 000 1: 50 000	ESCALA 1: 100 000 1: 200 000	ESCALA 1: 500 000 1: 1 000 000 Y MENORES	IMAGEN DEL SIGNO	DIMENSIONES (en mm)
183	CATEDRAL 1) De una torre. 2) De dos o más torres.					
154	TEMPLO 1) De una torre. 2) De dos o más torres.					
155	CAPILLA 1) Oratorio, ermita.					
156	CHIMENEA					

Nº	DENOMINACIÓN	ESCALA 1: 25 000 1: 50 000	ESCALA 1: 100 000 1: 200 000	ESCALA 1: 500 000 1: 1 000 000 Y MENORES	IMAGEN DEL SIGNO	DIMENSIONES (en mm)
221	MANZANAS CON EDIFICACIÓN PARCIAL 1) Localidad.					
222	MANZANAS TRAZADAS Y BALDÍAS					
223	LÍMITE INTERNACIONAL 1) No demarcado. 2) En litigio. 3) De "doble línea". 4) No demarcado, en caso de "doble línea".					
224	LÍMITE DE LAS AGUAS INTERIORES Y ESPACIOS MARÍTIMOS 1) Límite de las aguas interiores. 2) Límite de las aguas interiores. 3) Límite de las aguas interiores. 4) Límite de las aguas interiores. 5) Límite de las aguas interiores.					

Fuente: Ministerio de Defensa - Instituto Geográfico Nacional (2010)
Manual de de Signos Cartográficos
Buenos Aires, Argentina.

Elaboración y control de calidad de cartas topográficas

5.1.- Elaboración de cartas topográficas a escalas a escalas grandes

Con el objetivo de realizar una experiencia de aplicación práctica, de los fundamentos teóricos y de las técnicas adquiridas en el presente trabajo de tesis, se procedió a confeccionar cartas topográficas a escala 1:10.000 en una zona de riqueza topográfica, con rutas y caminos, cursos de agua, importantes formaciones geológicas, diferentes usos del suelo, vegetación, etc., en la que resulta una necesidad impostergable, una buena cartografía, con el objetivo de proyectar sobre ella, obras de infraestructura civil, imprescindibles para subsanar los problemas existentes por el mal uso del suelo, y lograr un desarrollo sustentable de la misma.

En este caso en particular, el proceso cartográfico se basó en la utilización de una imagen satelital que soportara la confección de la escala seleccionada (1: 10.000), lo que implicaba una resolución espacial del píxel en el orden de los 15 o 20 metros de longitud para el lado del cuadrado representado en la celda de uso cartográfico.

Las características generales de la imagen satelital a emplear, son sumamente importantes a la hora de determinar entre otras cosas, la escala de la carta topográfica a elaborar, la finalidad de la misma, la calidad del producto final.

Entre las mismas se tiene:

- el sensor espacial que montado sobre una sonda espacial, tiene la facultad de determinar la presencia de objetos naturales, o bien contruidos por las personas, captando la energía que ellos emiten;
- el tipo de imagen satelital (básica, estándar), para conocer entre otras cosas las correcciones geométricas que la misma posee, la resolución radiométrica;
- las bandas (pancromática, multiespectral);
- la resolución espacial que tiene que ver con el nivel de detalle con que se pueden capturar las imágenes, su frecuencia temporal, finura espectral, etc.

“...Es de gran importancia la relación entre el tamaño de la escena a cartografiar y la resolución espacial de la imagen satelital...”. (Arias Suárez, I.; Pérez García, E., 2009)²⁶

Algo también muy importante a considerar cuando se trabaja con imágenes satelitales son las correcciones efectuadas a las mismas.

²⁶ Arias Suárez, I.; Pérez García, E. (2009) “Experimentación con imágenes satelitales de alta resolución geométrica para cartografía a grandes escalas”. En *Mapping Interactivo* N° 132 pp. 64-68

La corrección geométrica es un proceso de cambio de espacio de referencia: la imagen original tomada por el sensor está definida en un sistema local donde la localización de cada píxel queda determinada por su situación en filas y columnas: es el espacio imagen. La corrección geométrica ajusta esta imagen a un nuevo espacio de referencia donde cada píxel tiene asignado el valor XY que le corresponda en un sistema de proyección geográfica determinado: es el espacio de proyección.

En el proceso de la corrección geométrica se emplean dos procedimientos, a saber, la rectificación y la ortorectificación. Tanto en la rectificación como en la ortorectificación se utiliza un conjunto de puntos de apoyo que se pueden definir como puntos identificables en la imagen de los cuales se conocen también sus coordenadas en el sistema de proyección geográfica. Es decir, se conocen las coordenadas en los dos espacios de referencia.

Es un error común confundir rectificación con georreferenciación, por lo cual es conveniente hacer una distinción entre estos dos términos. La georreferenciación se refiere al proceso de asignar coordenadas cartográficas a los datos de una imagen. Los datos pueden estar ya proyectados en el plano deseado, pero no estar referenciados en el sistema de coordenadas apropiado. La rectificación, por definición, involucra la georreferenciación ya que todos los sistemas de proyección cartográfica están asociados con coordenadas cartográficas. La georreferenciación, por sí misma, involucra únicamente el cambio de la información de coordenadas cartográficas en el archivo de la imagen. La cuadrícula de la imagen no cambia. Latitud/longitud es un sistema de coordenadas geodésicas que no está asociado con una proyección cartográfica. Latitud/longitud expresa las posiciones en términos de un elipsoide, no de un plano. Así que, una imagen no está usualmente rectificada en latitud/longitud.

La rectificación es el proceso de transformar los datos de un sistema de cuadrícula en otro sistema de cuadrícula usando una transformación geométrica. La rectificación es necesaria en los casos en los cuales la cuadrícula de píxeles de la imagen se debe cambiar para ajustarse a un sistema de proyección cartográfica o a una imagen de referencia.

“...Sea cual sea el método utilizado para la corrección geométrica, el resultado es una imagen modificada geoméricamente para que se adapte al espacio de proyección. La corrección ha cambiado de lugar los píxeles en función de las diferentes propiedades geométricas de los espacios de referencia...”. (Cuartero A., Feliciano A.M., 2003)²⁷

²⁷ Cuartero A., Feliciano A.M. , (2003) “Rectificación y ortorectificación de imágenes de satélite: análisis comparativo y discusión”, En *GeoFocus* N° 3, p. 45-57.

5.2.- Aplicación práctica: confección de una carta topográfica a escala 1: 10.000

En el año 2009, la municipalidad de La Calera⁽¹⁾ - Provincia de Córdoba, en convenio con la Facultad de Ciencias, Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, adquiere una imagen QuickBird⁽²⁾ de la agencia espacial Digital Globe, de 0,60m por píxel, en formato GeoTiff. Este formato de imagen se encuentra asociado a los archivos de georreferenciación (metadatos) suministrados por la misma agencia espacial proveedora de la imagen, y se encuentran en proyección UTM, y sistema de referencia WGS84.

Dicha imagen fue la empleada para la elaboración de las cartas topográficas.

Los metadatos fueron proporcionados por la empresa proveedora de misma Digital Globe:

Formato: GeoTiff
Fecha y hora de la toma: 10/02/ 2009. Hora 16:08:36
Tipo de producto: ORStandard2A
(corregida geométrica y radiométricamente)
PanSharpened: Imagen derivada, compuesta por una pancromática y otra multispectral
Número de bandas = 3 (RGB – Full color)
Tamaño de las bandas: 22174 (filas) x 21189 (columnas)
Resolución radiométrica: 16 bits
Ancho de Pixel =0,6 metros
Altura de Pixel =0,6 metros
Proyección UTM, huso 20, elipsoide WGS84
Origen X = 362709,89999828
Origen Y = 6537994,50000067
Orientación = 0,0



Figura 5.1.- Imagen QuickBird

Se debe aclarar que se trata de un producto estándar, y algunos autores aseguran, con cierta crítica, que:

“...El producto Standard Imagery de Digital Globe no puede considerarse como ortorectificado” “... el DEM de cobertura mundial utilizado por Digital Globe no reúne las características adecuadas para las precisiones que una resolución geométrica por debajo del píxel requieren, aparte de ello, aun disponiendo de un DEM de la precisión adecuada, las propias efemérides de QuickBird no resultan lo suficientemente estables, lo que hace que la condición de colinealidad no se cumpla de manera satisfactoria en los términos que una resolución de 1m requeriría...” (Sanchez Martín N.; Perez Gutierrez C., 2008)²⁸.

²⁸ Sánchez Martín, N; Pérez Gutiérrez, C., (2008) - “Control geométrico de imágenes QuickBird para fines cartográficos” *Universidad Nacional de Salamanca, España*

Ahora bien, las imágenes estándar son productos ortorectificados, aunque sea con un bajo nivel de precisión y la “legitimidad” dicta que no se puede volver a rectificar una imagen ya tratada.

Se procedió a georreferenciar la imagen, pasando todo el conjunto a la proyección Gauss – Krüger Faja IV. Ya en la mencionada proyección se exportó el dato raster al formato original .TIF de 24 bits, sin compresión, logrando preservar la calidad de la imagen original.

Se importó la imagen al programa Autocad.

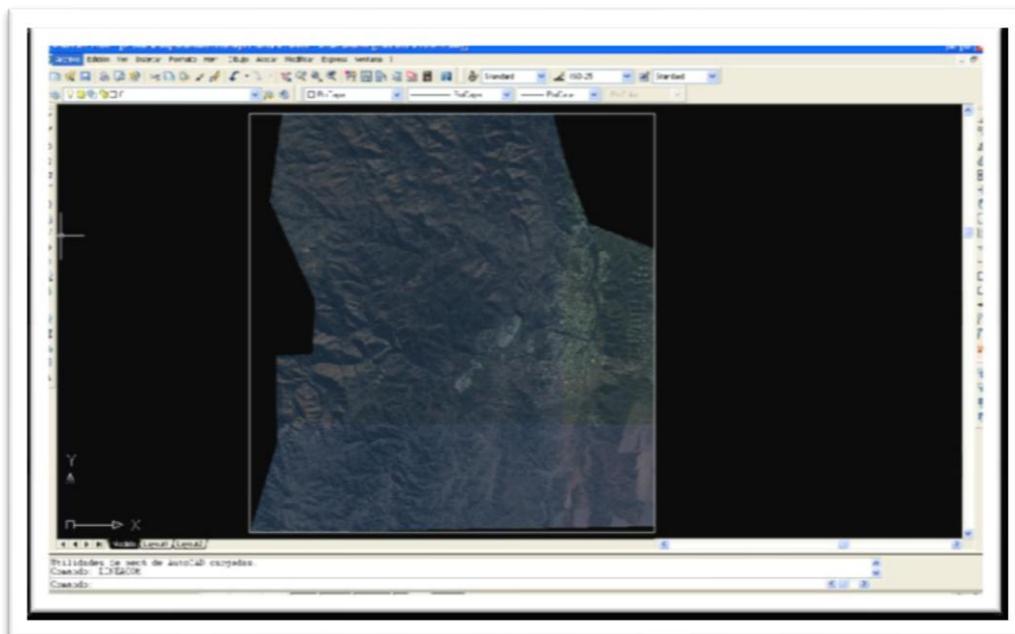


Figura 5.2.- Imagen QuickBird -Captura de pantalla AutoCad- (Fuente Martín, J.A., 2009)²⁹.

Con la imagen importada en AutoCad y la hoja 211 del Registro Gráfico de la Dirección de Catastro de la Provincia de Córdoba⁽³⁾ a escala 1: 50.000 vectorizada, se procedió a confeccionar las hojas 211-07 y 211-12 a escala 1: 10.000 resultantes de la división de la hoja 211 en 25 hojas numeradas de 1 a 25 correlativamente, abarcando la ciudad de La Calera y zonas aledañas.

²⁹ Martín, J.A. (2009). “Desarrollo sostenible, ordenamiento territorial y su aplicación a la ciudad de La Calera - Trabajo Final de Grado, Ingeniería en Agrimensura, p.209, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.

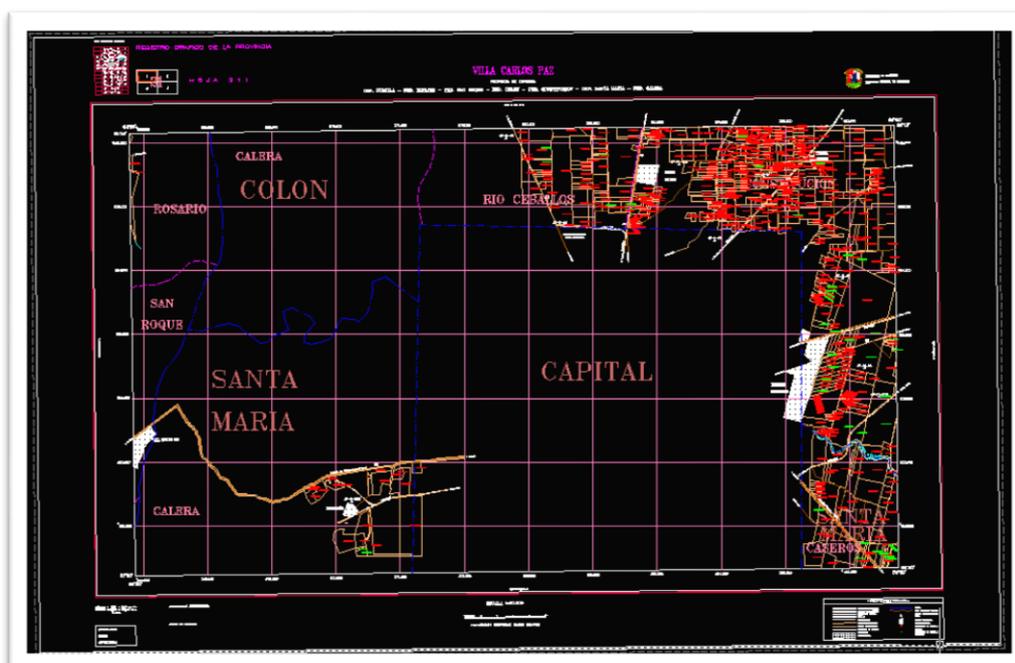


Figura 5.3. – Hoja 211 Registro Gráfico – Escala 1: 50.000 - Captura de pantalla AutoCad
(Fuente: Dirección de Catastro de la Prov. de Córdoba, 2009)

En su elaboración se tuvieron en cuenta las pautas generales establecidas por el Instituto Geográfico Nacional, y los lineamientos del Plan Cartográfico de la Provincia de Córdoba.

Para la Simbología cartográfica, se trabajó bajo con el “Manual de Signos Cartográficos”³⁰ (IGN Argentina, 2010).

1. Cuadrícula de coordenadas geográficas: partiendo de los extremos de la imagen dentro de las cartas, se calculó la cuadrícula cada 2', dibujando una cruz en la intersección de las líneas.
2. Cuadrícula de coordenadas planas: partiendo de un punto con coordenadas enteras se calculó la cuadrícula cada 8 cm, los que representan 800 m en la carta de escala 1: 10.000.
3. Curvas de nivel: vectorizadas respetando la equidistancia de las cartas topográficas del IGN. Equidistancia seleccionada: 10 m para 1:10.000
4. Símbolos cartográficos: de acuerdo al manual de signos cartográficos del IGN.
5. Toponimia: se indicó los nombres de las localidades más importantes, ferrocarriles, cursos de agua, embalses, centrales hidroeléctricas, caminos de acceso, entre otros.
6. Información marginal

³⁰ Ministerio de Defensa; IGN – República Argentina “Manual de Signos Cartográficos”, disponible en PDF en la página web del IGN www.ign.gob.ar

- Tipo de carta, título e identificación de la hoja: según su finalidad, se expresó el tipo de carta (carta de imagen, carta topográfica de imagen, hoja del Registro Gráfico); el título corresponde a la localidad más importante del área cubierta; y la identificación dentro del Plan Cartográfico Provincial o del Registro Gráfico.
- Mapa de ubicación, situación de la hoja: corresponde a la ubicación relativa de cada carta con respecto a las demás.
- Proceso cartográfico
- Referencias: incluye la correlación de los diferentes objetos geográficos con su visualización en la imagen satelital, y el significado de la simbología utilizada.
- Datos de la imagen: tipo de imagen, fecha de adquisición, correcciones radiométricas y geométricas (combinación de bandas, fusión), resolución espacial y método de georreferenciación.
- Sistema de referencia, proyección cartográfica y fuentes de información.
- Escala numérica y equidistancia.
- Escala gráfica: se dibujó con un intervalo de 1Km, y el talón con un intervalo de 100m.

En todos los procesos de este trabajo se tuvo presente la importancia de la calidad final del producto cartográfico.

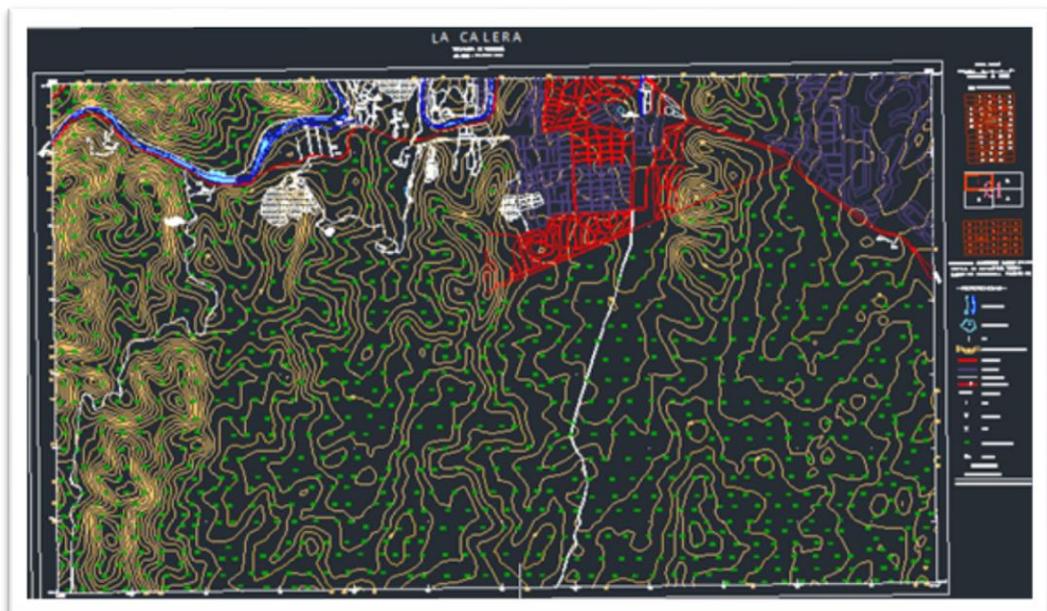


Figura 5.4. – Hoja 211-12 - Escala 1: 10.000 -Captura de pantalla AutoCad. (Autora: Oliver, M.C., 2012)

5.3.- Control de calidad de la carta topográfica.

En este caso en particular, para evaluar la precisión planimétrica se decidió extraer de las cartas confeccionadas las coordenadas de puntos, distribuidos en la zona, para luego compararlas con sus equivalentes en el terreno. Se procedió a calcular el error medio cuadrático de las coordenadas X e Y, para ello se calcularon previamente las discrepancias $X^m - X^t$, $Y^m - Y^t$.

En cuanto a la precisión altimétrica, el verdadero interés en la carta topográfica, está en determinar la cota de puntos por la interpolación entre las curvas de nivel, la que se ve afectada por el desplazamiento horizontal gráfico de las mismas. Este desplazamiento horizontal nunca debe ser igual o mayor que el error gráfico comprendido entre la posición sobre la carta de dos curvas de nivel, espacio éste que es función de la equidistancia elegida y ésta a su vez, depende de la escala y de la pendiente del terreno. Definida la precisión altimétrica de esta manera se procedió a calcular el error medio cuadrático de la coordenada Z con las discrepancias $Z^m - Z^t$.

Para evaluar la calidad temática de las cartas, se recurrió a profesionales y alumnos universitarios avanzados, usuarios con cierto grado experiencia, en el manejo de cartas topográficas y en la visualización de la información contenida en ellas; a comparaciones con fuentes de mayor exactitud, como por ejemplo, con datos oficiales obtenidos del IGN y en algunos casos con inspecciones oculares en el terreno.

5.3.1.- Precisión cartográfica. Análisis de la componente posicional

Se trabajó con la hoja 211-12 a escala 1:10.000. Para proceder al control de calidad en precisión de la carta, se seleccionaron 20 puntos uniformemente distribuidos y, por los procedimientos indicados en el *capítulo 3*, se calcularon para las coordenadas X, Y y Z las diferencias.

Se adoptó el criterio de la distribución homogénea de puntos en la carta, asegurando la uniformidad. Para ello, se subdividió la misma en cuadrantes de acuerdo con el número de puntos seleccionados.

La selección del total de los 20 puntos de apoyo se realizó previamente en la imagen para asegurar su identificación y sus coordenadas fueron tomadas posteriormente en el campo con técnicas de GPS diferencial que garantizan precisiones de unos cm.

Se trabajo sobre el archivo digital, y sobre la carta impresa.

En especial en el producto final impreso se tuvo en cuenta tanto los errores cometidos en el proceso de captura de los datos, como en el procesamiento de los mismos, en su representación gráfica, y en el proceso de impresión plotter.

Para medir las coordenadas sobre la carta impresa, se tuvo en cuenta que si bien:

“...Las cartas topográficas a escala grande tienen uniformidad métrica para toda la extensión de la hoja, pues su campo cartográfico puede considerarse reducido, es más racional utilizar adecuadamente la cuadrícula de la carta y determinar cualquier distancia por diferencia de coordenadas en las que sólo se acusará la variación del papel producida en un espacio no mayor que la mitad de la cuadrícula correspondiente...” (Bartaburu S.G., 1994)³¹.

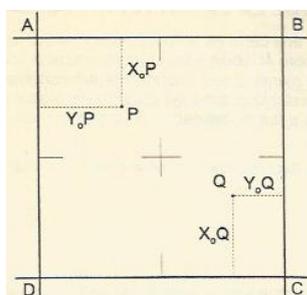


Gráfico 5.1.- Cuadrícula. Lado de cada cuadrado: AB x BC.

Deformación del papel: proporcional a $X_0; Y_0$.

Deformación máxima proporcional a: $\frac{AB}{2}; \frac{BD}{2}$

Los valores de las diferencias ΔX_i constituyen los valores de la serie de observaciones (x_i) y los valores de la media $\bar{\Delta X}$ y varianza S^2 , los parámetros que se utilizaron para realizar el contraste por aplicación de los test estadísticos expuestos anteriormente.

El control hizo de forma independiente para las coordenadas X, Y y Z. Para X e Y se tomó, los mismos límites de error, a diferencia de la coordenada Z donde la tolerancia se la tomó, en función de la equidistancia entre curvas de nivel.

En todos los casos se supuso que la serie de observaciones estaba normalmente distribuida, aunque para mayor seguridad se contrastaron con test estadísticos de distribución normal, ya que los diferentes test de aplicación requieren de la normalidad de la distribución.

Los datos fueron cargados en planillas de cálculo Microsoft Office Excel y levantados para ser procesados en *InfoStat*³², *software estadístico versión 2013, del Grupo InfoStat de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina* (licencia profesional a nombre de la autora de este trabajo de tesis).

En primer lugar, se estudió la presencia de sistematismos en la serie de discrepancias. Esto se hace averiguando si la media de la distribución de las observaciones es cero. Por consiguiente, se aplicó el test de la media de una población normal y se contrastó la hipótesis nula.

³¹ Bartaburu S.G., (1994) *La Carta Topográfica*, p.17

³² Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. *InfoStat* versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Para averiguar si la precisión del mapa (precisión de la serie de discrepancias) era aceptable se contrastó la varianza por medio de los test de la varianza de una población normal.

Los cálculos son análogos para las coordenadas X, Y y Z. Se muestran solo los de la coordenada X, obtenidos a partir de la comparación de los datos de campo con los de la carta impresa. Los restantes pueden consultarse en el *Anexo II*.

Tabla 5.1.- Tabla de resultados obtenidos para la coordenada X

N	ΔX (mm)	$(\Delta X)^2$	$\Delta X - \Delta \bar{X}$	$(\Delta X - \Delta \bar{X})^2$
1	0,52	0,27	0,51	0,26
2	-0,71	0,51	-0,72	0,52
3	0,88	0,77	0,87	0,72
4	-0,37	0,14	-0,38	0,15
5	0,46	0,21	0,45	0,20
...

Media de las diferencias $\bar{e}_x = \Delta \bar{X} = \frac{\sum \Delta X}{n} = 0,009$ mm

Variancia muestral (error medio cuadrático) $S_X^2 = \frac{\sum (\Delta X - \Delta \bar{X})^2}{n-1} = 0,22$ mm²

Desviación típica muestral (error medio) $S_X = \sqrt{\frac{\sum (\Delta X - \Delta \bar{X})^2}{n-1}} = \pm 0,47$ mm

Contraste de normalidad de Shapiro – Wlks

Valor del estadístico $w = \frac{1}{n S_X^2} (\sum_{i=1}^h a_{i,n} (x_{(n-1+1)} - x_{(i)})^2) = 0,86$

($h = \frac{n}{2}$ si n es par y $h = \frac{n-1}{2}$ si n es impar; los $a_{i,n}$ se encuentran tabulados)

Valor crítico $w_{20; 0,05} = 0,905$

Como $0,86 < 0,905$ inferimos que la muestra proviene de una población normal.

Test de la media con varianza desconocida

Valor del estadístico $y = \frac{(\Delta \bar{X} - \mu_0) \sqrt{n}}{S} = 0,08$

Valor crítico $t_{19; 0,05} = 1,729$

Como $0,08 < 1,729$ la hipótesis nula es aceptada. El error sistemático se encuentra entre los límites aceptables

Test de la varianza con media desconocida ($\sigma_0 = 0,5$)

Valor del estadístico $c = \frac{(n-1)S^2}{\sigma_0^2} = 17,1$

Valor $\chi^2_{19;0,05} = 30,14$

Como $17,1 < 30,14$ la hipótesis nula es aceptada. El error aleatorio se encuentra entre los límites aceptables

Los valores críticos de las distribuciones fueron tomados de la siguiente tabla donde se dan los valores para los números de elementos más frecuentemente usados para estos test.

Tabla 5. 2.- Tabla de valores de los estadísticos usados en los test

N	$t_{n;0,05}$	$t_{n;0,025}$	$\chi^2_{n;0,05}$	$\chi^2_{n;0,025}$	$w_{n;0,05}$
19	1,729	2,093	30,144	33,687	0,901
20	1,725	2,086	31,410	35,020	0,905
21	1,721	2,080	32,671	36,343	0,908
22	1,717	2,074	32,924	37,659	0,911

Con el objetivo de comprobar estadísticamente hablando, si se podía establecer, una precisión planimétrica por un lado y una precisión altimétrica por otro, se realizaron gráficos de dispersión de valores de Y con respecto a X, y de Z con respecto a X e Y, comprobándose gráficamente que existe una relación prácticamente lineal entre los valores de las diferencias en X e Y, lo que nos evidencia una correlación, una dependencia entre ambas coordenadas, no sucediendo lo mismo con los valores de Z respecto de X y de Y.

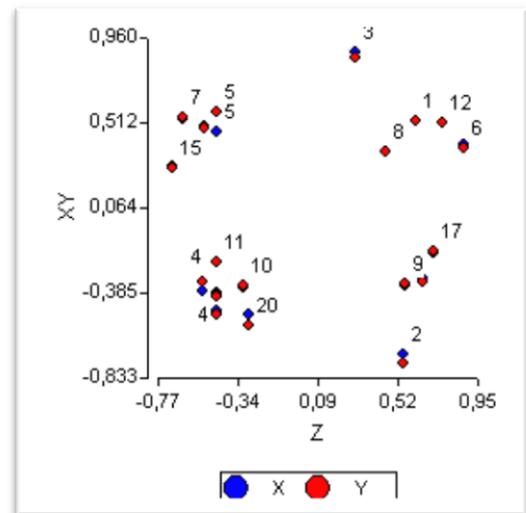
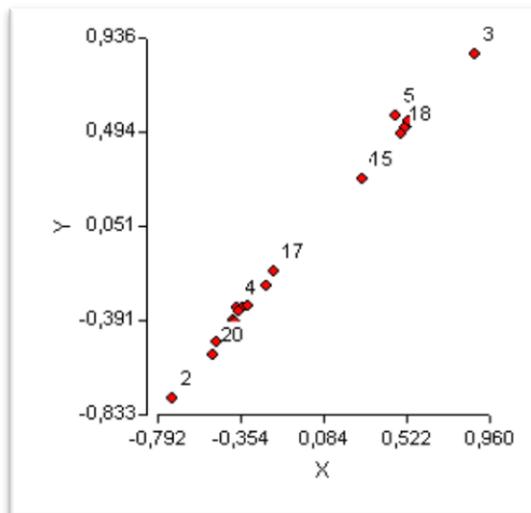


Gráfico 5.2.- Gráfico de dispersión $\Delta Y_i - \Delta X_i$ Gráfico 5.3.- Gráfico de dispersión $\Delta X_i \Delta Y_i - \Delta Z_i$

Por todo lo analizado y expresado anteriormente la precisión altimétrica (discrepancias en la coordenada Z) se tomó como una variable cuantitativa analizada en forma independiente de la planimétrica.

Tabla 5.3. Tabla resumen de los cuadrados de las diferencias

N	$(\Delta X - \Delta \bar{X})^2$	$(\Delta Y - \Delta \bar{Y})^2$	$(\Delta X - \Delta \bar{X})^2 + (\Delta Y - \Delta \bar{Y})^2$	$(\Delta Z - \Delta \bar{Z})^2$
1	0,26	0,26	0,53	0,37
2	0,52	0,58	1,10	0,29
3	0,76	0,72	1,48	0,08
4	0,15	0,12	0,26	0,30
5	0,20	0,31	0,52	0,22
...

$$S_X^2 = \frac{\sum(\Delta X - \Delta \bar{X})^2}{n-1} = 0,22 \text{ mm}^2$$

$$S_Y^2 = \frac{\sum(\Delta Y - \Delta \bar{Y})^2}{n-1} = 0,23 \text{ mm}^2$$

$$S_{xy} = \sqrt{(S_X^2 + S_Y^2)} = \pm 0,68 \text{ mm}$$

Bajo la hipótesis de que el error planimétrico (S_{XY}) de la imagen o carta sigue una distribución normal, puede afirmarse que el error medio corresponde aproximadamente al 68 % de probabilidad (el 68 % de los errores en la imagen o carta, tienen un valor inferior al error medio). Manteniendo la hipótesis de normalidad es posible estimar los valores de error unidimensional (en X o Y) con un 90%, 95% y 99% de probabilidad, multiplicando el valor de error medio (en X o Y) por 1,65; 1,96 y 2,58 respectivamente.

El error máximo absoluto (en X o Y) puede ser aproximado multiplicando el error medio por 3,89 (correspondiente al 99,99% de probabilidad).

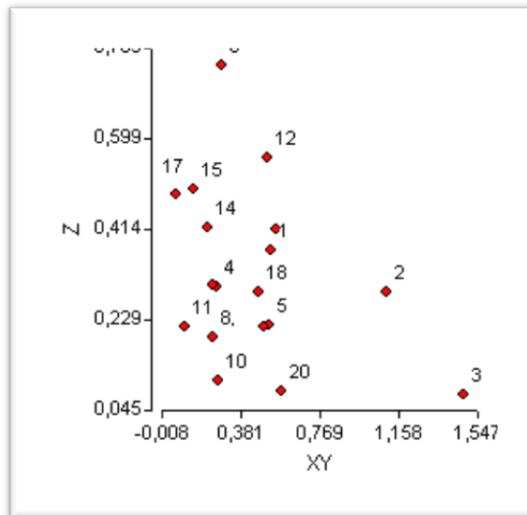


Gráfico 5.4.- Gráfico de dispersión $(\Delta X - \Delta \bar{X})^2 + (\Delta Y - \Delta \bar{Y})^2$ - $(\Delta Z - \Delta \bar{Z})^2$

La precisión planimétrica, es un valor, muy importante, pero a veces, no es suficiente, para evaluar la calidad de un determinado tipo de cartas topográficas de precisión, como aquellas a escalas mayores a 1:20.000 que deben a ser usadas en la toma de decisiones importantes, como por ejemplo en la implantación de una obra de

infraestructura civil donde se requiere una elevada precisión planimétrica y altimétrica.

Para evaluar o controlar la calidad de la carta topográfica, se tomó el error circular (EC), estadístico que indica el error posicional bidimensional, que resulta de la combinación del error en las direcciones X e Y. Se trata de una figura que representa el porcentaje indicado de la probabilidad que cualquier punto expresado como una función de dos componentes lineales (por ejemplo, la posición horizontal) estará dentro del círculo dado.

El EC se apoya en fundamentos teóricos de la estadística bivariada.

“...El cálculo de nivel de confianza asume que los errores tienen una distribución bivariable normal; que son independientes en la dirección de los ejes X y Y, y que además los datos se encuentran libre de errores sistemáticos. Aunque para su cálculo no es necesario recurrir a complicados desarrollos matemáticos, una aproximación bastante sencilla es la propuesta en FGDC (Comité Federal de Datos Geográficos de los Estados Unidos de América) en 1998 para el error circular con probabilidad de 90 y 95 %...” (Corbelle Rico E., y otros, 2006)³³

En caso de que en que $S_x \cong S_y$

$$EC_{95\%} = 2.4477 * S_X = 2.4477 * S_Y$$

$$EC_{95\%} = 2.4477 * S_{XY}/1.4142 \text{ (corresponde al error promedio en X y error en Y)}$$

$$EC_{95\%} = 1.7308 * S_{XY}$$

$$EC_{95\%} \cong 1,7308 \sqrt{S_X^2 + S_Y^2}$$

En caso de que en que $S_x \neq S_y$

En la mayoría de los casos, el error en X y en Y será diferente; sin embargo los estándares solo consideran el caso en que la razón entre el error más pequeño y el más grande (ya sea en X o en Y) se encuentra en el intervalo [0,6mm – 10 mm]. Bajo estas condiciones el error estándar circular para un nivel de confianza de 95% puede aproximarse utilizando la siguiente ecuación:

$$(S_X + S_Y)/2$$

$$2,4477 * (S_X + S_Y)/2$$

$$EC_{95\%} \cong 1,12239 (S_X^2 + S_Y^2)$$

$$\text{siempre que: } 0,6 < \frac{S_{\min}}{S_{\max}} < 1,0$$

³³ Corbelle Rico, E.; Gil Docampo, M.L. Armesto González, J.; Rego Sanmartín, T., (2006) “La escala cartográfica de la imagen de satélite. Caso particular de las imágenes Ikonos y QuickBird” *En Revista de Teledetección. N° 26: pp. 18-24*

Estos valores son los mismos que plantea en forma empírica el test de NSSDA antes citado y apoyado siempre en fundamentos estadísticos.

En este caso en particular $S_x \cong S_y$ por lo que se tiene:

$$EC_{95\%} = \pm 0,76 \text{ mm}$$

Luego se procedió a analizar la componente Z

$$S_z = \sqrt{\frac{\sum(\Delta Z - \Delta \bar{Z})^2}{n-1}} = \pm 0,57 \text{ mm}$$

$$EZ_{95\%} = 1,960 * S_z = \pm 1,12 \text{ mm}$$

establece que no más del 10% de las puntos evaluados podrán tener un error superior a 0,5 del intervalo de la curva de nivel.

Para un nivel de confianza del 95% el valor de $Z_{n; 0,025} = 1,960$. Este cálculo asume una distribución normal y un tamaño de muestra igual o superior a 30; de lo contrario se debe utilizar una tabla “t” de Student.

En este caso en particular se puede utilizar, de considerarlo necesario el valor

$$t_{19; 0,025} = 2,093.$$

En resumen para niveles de confianza del 95% se tiene:

$$EC_{95} = \pm 0,76 \text{ mm (precisión horizontal)}$$

$$EZ_{95} = \pm 1,12 \text{ mm (precisión vertical)}$$

5.3.2.- Conclusiones particulares del control de la precisión cartográfica

De acuerdo a los estándares internacionales el CMAS especifica que un 90% de las observaciones deben estar en el rango de error de 0,54 mm a escala de mapa. Aplicando este estándar a las cartas 1:10.000, de 100 puntos seleccionados sólo 10 podrían tener un error horizontal superior a los 5,40 metros, lo cual es compatible con las técnicas actuales de levantamientos, observaciones y tratamiento digital de la información.

Observando los resultados, esto se cumple para este análisis en particular.

Con la aplicación de los test estadísticos se pudo observar con claridad la existencia de dos tipos de precisiones, una planimétrica, dada por el cálculo de un error circular y una altimétrica dada por su error medio cuadrático. La misma se encuentra en relación directa con la separación entre las curvas de nivel.

Adoptando el criterio propuesto en la Norma Cartográfica para la Provincia de Santa Fe, se podría clasificar este producto como de Clase C según su precisión posicional.

5.3.3.- Análisis de la componente temática – Calidad de los atributos cartográficos

Una vez realizado el test de precisión posicional se debe determinar si es posible el estudio de la componente temática. La exactitud temática se puede estudiar de muchas formas pero la más desarrollada, es la referida a la matriz de confusión.

Si se analiza la componente temática en este caso en particular, rápidamente se ve que el uso de matrices de confusión no es posible, puesto que a la cartografía en estudio no le corresponde tal aplicación, ya que se trata de un producto final en formato digital, la fuente de mayor información para el análisis de esta componente sería la imagen satelital en la base a la cual se confeccionó la misma.

Siguiendo con la propuesta metodológica hecha en el *capítulo 4*, se decidió trabajar con los siguientes atributos, divididos en tres grandes grupos, y consultar a 20 usuarios de cartografía con diferente grado de experiencia en el manejo de la misma, quienes a través de observaciones directas de la carta, evaluaron los atributos con la siguiente escala de valoración cualitativa (3: muy bueno, 2: bueno, 1: regular, 0: mala).

La matriz de variables cualitativas, contó de 30 columnas (cantidad de atributos observados) por 20 filas, lo que generaba un total de 600 valores de apreciación cualitativa.

Tabla 5.4.- Dimensiones y atributos en estudio

Grupo de variables	Sub grupos de variables	Atributos	Denominación	
Condiciones técnicas		Escala	ESC	
		Proyección	PRO	
	Metodología empleada en la elaboración: Empleo de imagen satelital VHR	Sensor	SEN	
		Resolución	RES	
		Tipo	TIP	
	Condiciones geodésicas	Latitud	LAT	
		Longitud	LON	
		Altitud	ALT	
		Elipsoide	ELI	
		Datum	DAT	
Sistemas de expresión gráfica		Rotulación	ROT	
		Abreviaturas	ABR	
		Toponimia	TOP	
	Variables visuales	Forma Puntual	FP	
		Forma Lineal	FL	
		Forma Zonal	FZ	
		Tamaño	TAM	
		Orientación	ORI	
		Color	COL	
		Valor	VAL	
		Grano	GRA	
	Símbolos convencionales	Implantación Puntual	IP	
		Implantación Lineal	IL	
		Implantación Zonal	IZ	
	Representación del relieve topográfico	Puntos Acotados	PA	
		Curvas de Nivel	CN	
		Informaciones marginales	IM	
	Generalización cartográfica		Selección	SEL
			Esquematación	ESQ
			Armonización	ARM

Tabla 5.5.- Resumen de las dimensiones y atributos en estudio. Escala de medición

Grupo de variables (atributos)	Atributos relacionados	Cantidad total de observaciones	Escala de medición
Condiciones técnicas	10 atributos relacionados con las condiciones técnicas	200	Todas las variables cualitativas (atributos), fueron medidas con la escala: 3: muy bueno 2: bueno 1: regular 0: malo
Sistemas de expresión gráfica	17 atributos relacionados con los sistemas de expresión gráfica	340	
Generalización cartográfica	3 atributos relacionados con la generalización cartográfica	60	

En una primera instancia se trabajó con la matriz completa, posteriormente se realizaron análisis similares para los tres grupos de variables, ya que los atributos relacionados con cada una de ellas, habían sido evaluados cualitativamente por las mismas personas.

Para simplificar la estructura de datos, y estudiar la forma de asociación de los distintos atributos, se usaron técnicas de análisis multivariado.

Tabla 5.6.- Matriz de datos cualitativos

	Condiciones técnicas										Sistemas de expresión gráfica												Generalización cartográfica								
			Metodología: Imagen Satelital			Condiciones geodésicas							Variables visuales						Símbolos convencionales			Rep. del relieve									
	ESC	PRO	SEN	RES	TIP	LAT	LON	ALT	ELIP	DAT	ROT	ABR	TOP	FP	FL	FZ	TAM	ORI	COL	VAL	GRA	IP	IL	IZ	PA	CN	IM	SEL	ESQ	ARM	
OBS1	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
OBS2	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	2	3	2	1	3	3	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2	
OB3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	2	2	2	2	
OBS4	3	3	3	3	1	3	3	2	3	3	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	1	2	2	
OBS5	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	3	3	2	2	2	2	1	1	2	2	3	1	1	2	
OBS6	3	3	3	2	1	3	3	2	3	3	2	2	2	3	2	1	3	3	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2	
OBS7	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	3	3	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2	
OBS8	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3	2	2	1	1	3	3	1	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	2	
OBS9	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	2	2	2	
OBS10	3	3	3	2	2	3	3	2	3	3	2	2	2	2	1	1	3	3	2	2	2	2	1	1	2	2	3	2	1	2	
.....

Como primer paso se empleó el método del Análisis de Conglomerados con el objetivo de buscar grupos de variables (atributos) similares, lo más homogéneos posibles. Se utilizó una medida de distancia basada en el coeficiente de similitud por empates simples, para formar los diferentes conglomerados, y el criterio del encadenamiento promedio para asignar las variables a dichos conglomerados.

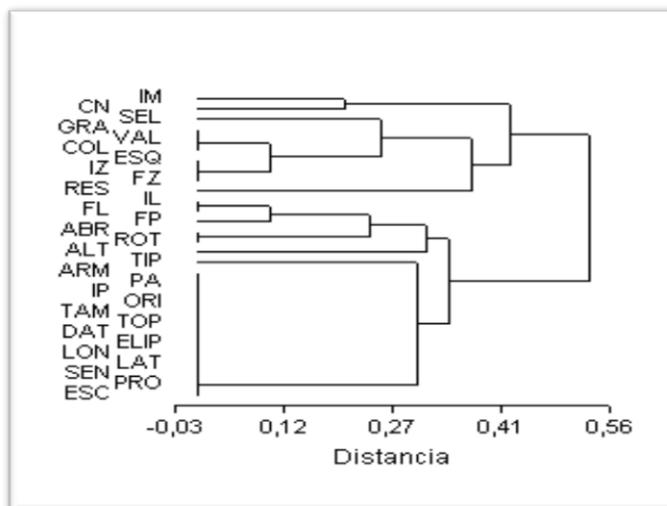


Gráfico 5.5.- Dendograma resultante del algoritmo “encadenamiento promedio” aplicado a la matriz de distancias obtenida a partir del coeficiente de similitud por empates simples

La primera apreciación deducida de la observación de la matriz de distancias y del dendograma (representación gráfica en forma de árbol que resume el proceso de agrupación en un análisis de conglomerados) correspondiente, es que existen grupos de variables bien definidos e identificados. Esto era lo esperado por la forma en que fueron definidos los diferentes atributos.

La distancia entre las variables visuales color, valor y grano es cero, es decir que no hay diferencia entre una y otra, también sucede lo mismo entre la variable visual forma (puntual, lineal, zonal) y los signos convencionales (implantación puntual, lineal y zonal). Esto debería ser así por definición de las mismas, lo que pudo ser observado claramente a través de este análisis.

Entre los atributos relacionadas con la generalización cartográfica (selección, esquematización y armonización), las distancias son menores, siendo mayores entre estos y los demás atributos. Lo mismo sucede con los atributos relacionados con las condiciones técnicas. Dentro de este grupo se destaca un pequeño subgrupo que tiene que ver con los atributos relacionados con el la imagen satelital.

Como segundo paso, para seguir estudiando el problema, se realizó un estudio de Correspondencia Múltiple con el objetivo de estudiar las relaciones de dependencia y forma de asociación entre atributos. Para ello se generó una Tabla de Burt (tabla de contingencia que pone en relación cada modalidad con todas las demás).

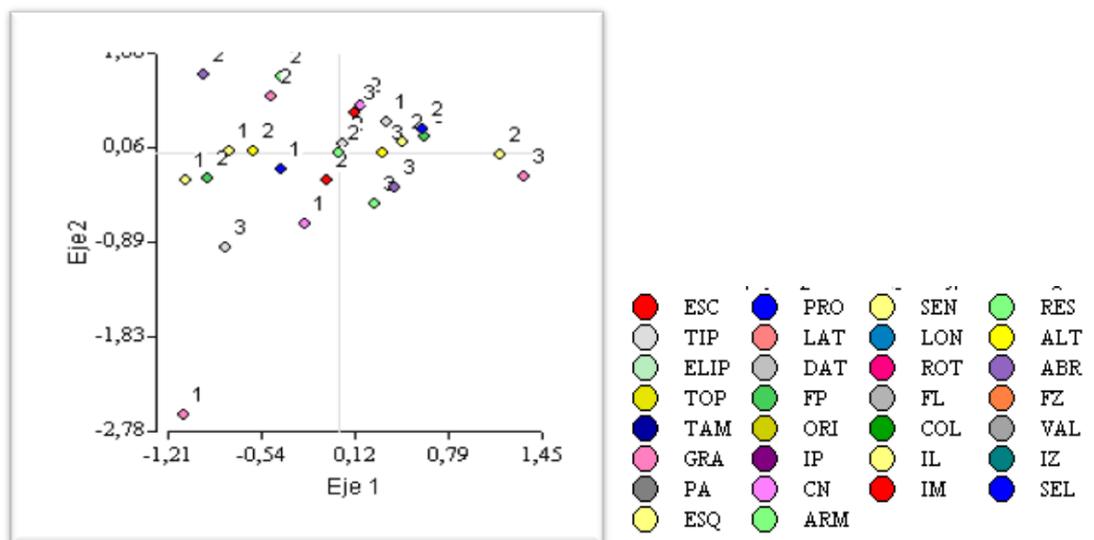
Se calcularon, la tabla de perfiles, las frecuencias esperadas bajo la hipótesis de independencia, los desvíos a lo esperado bajo dicha hipótesis, los desvíos respecto a lo esperado bajo independencia y las contribuciones al estadístico chi-cuadrado por celda.

De la observación de las tablas de frecuencias esperadas para el estadístico chi-cuadrado y desvíos respecto a lo esperado bajo el supuesto de independencia, se puede concluir, de que no existe independencia entre determinados grupos de variables.

Es apreciable, la relación existente entre los símbolos convencionales y los atributos incluidos en el grupo de generalización cartográfica. Se pudo observar menor relación de dependencia entre el grupo de atributos incluidos en las condiciones técnicas, que con los de los otros dos grupos.

De estos análisis se obtuvieron, conclusiones similares al estudio de las distancias entre los atributos y la formación de los conglomerados.

Es importante saber, que el análisis de correspondencias de una tabla de Burt produce una buena representación gráfica de la información aportada por dicha tabla, ya que nos permite representar la nube de puntos de las modalidades, a partir de la semejanza entre las clases de individuos con los perfiles de distribución de las variables.



0: mala, 1: regular, 2: buena, 3: muy buena

Gráfico5.6.- Representación en el plano factorial del análisis de correspondencia de los distintos atributos.

Hay que tener presente que, la distancia entre dos modalidades de una tabla de Burt crece en función de la proporción de individuos que presentaron una y solo una de las dos modalidades.

Observando en gráfico se ve que varias de las modalidades se superponen, es decir son comunes a gran cantidad de individuos.

Con la aplicación de este método se pudo estudiar en conjunto las relaciones de dependencia entre las variables, y la forma de asociación entre las mismas, además de la representación gráfica en dos dimensiones toda la información contenida en la tabla de Burt, lo que ayudará a reducir el campo de observación, y seleccionar aquellos atributos que tendrán un “peso significativo en control de calidad de una carta topográfica”.

Posteriormente, se realizaron estudios de análisis de correspondencia para los tres grupos de variables: condiciones técnicas, sistemas de expresión gráfica y generalización cartográfica.

A continuación se muestran los gráficos resultantes de los correspondientes análisis.

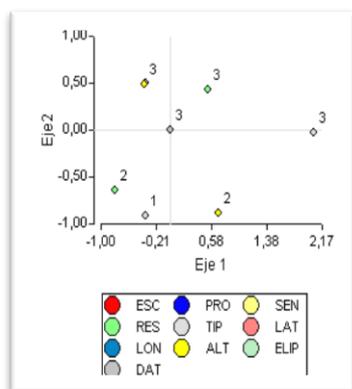


Gráfico 5.7.

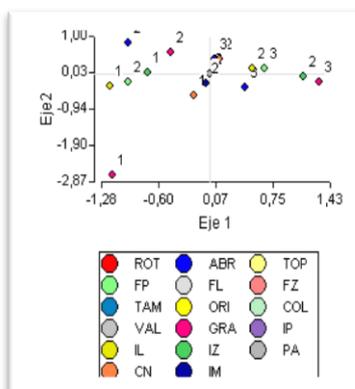


Gráfico 5.8.

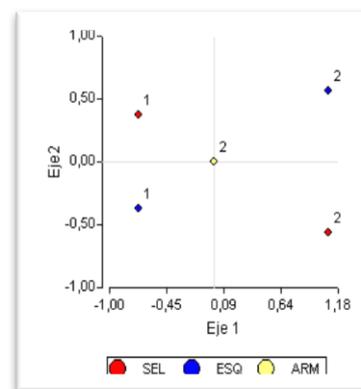


Gráfico 5.9.

Gráfico 5.7.- Representación en el plano factorial del análisis de correspondencia de los atributos incluidos en el grupo de variables: condiciones técnicas.

Gráfico 5.8.- Representación en el plano factorial del análisis de correspondencia de los atributos incluidos en el grupo de variables: sistemas de representación gráfica.

Gráfico 5.9.- Representación en el plano factorial del análisis de correspondencia de los atributos incluidos en el grupo de variables: generalización cartográfica.

De los análisis de correspondencias por separado de cada grupo de variables, de la observación de los diferentes gráficos y del estudio y análisis de las diferentes tablas generadas, se obtuvieron conclusiones semejantes a las anteriores pero en esta ocasión, con más precisiones.

Dentro del grupo de las condiciones técnicas se visualizan dos subgrupos, uno con todo lo relacionado a la escala, proyección, elipsoide, datum, origen de las latitudes, longitudes, las altitudes y otro que tiene que ver con los atributos relacionados con el la imagen satelital. Dentro de este subgrupo, el tipo de imagen satelital empleada es la variable que más peso tiene. Ello puede deberse al tipo de correcciones geométricas que la misma ha tenido, antes de ser empleada en la confección de las cartas.

En cuanto a los atributos incluidos en el grupo de los sistemas de expresión gráfica, como se expresó anteriormente, existe una estrecha relación entre las variables visuales y los símbolos convencionales; entre el color, el valor y grano; entre la rotulación, las abreviaturas y la toponimia. En la representación del relieve, tiene mayor peso el atributo de las curvas de nivel, que de los puntos acotados. Lo que se destaca como una especie de subgrupo independiente de los demás son las informaciones marginales.

Los atributos relacionados con la generalización cartográfica, parecen poseer todos los mismos pesos. No se diferencian uno de otro, forman un único grupo.

Para obtener un resumen empírico de los datos, un ordenamiento de los atributos según sus diferentes calificaciones categóricas ordinales, se realizó una aproximación a través de un Análisis de Coordenadas Principales.

Este método nos permite analizar la interdependencia entre variables categóricas y encontrar una representación gráfica de n individuos tal que se refleje la distancia entre ellos. Estas distancias pueden ser calculadas a partir de la estructura de similitudes definida por la matriz de similitudes. Para este estudio se empleó la matriz de distancias entre atributos obtenida a partir del coeficiente de similitud por empates simples.

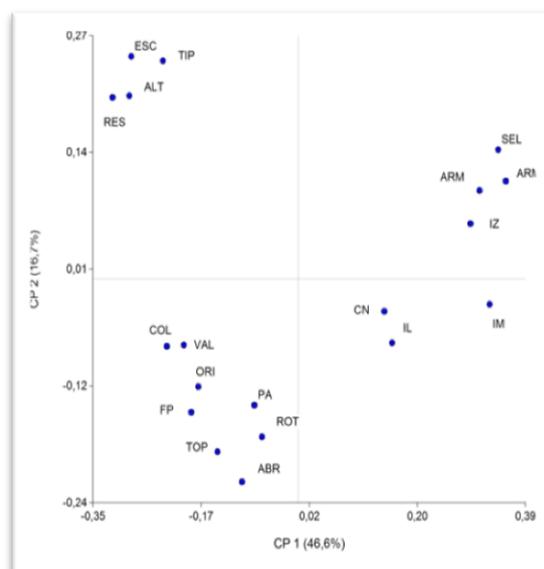


Gráfico 5.10.- Representación en los primeros ejes del plano factorial generado por el Análisis de Coordenadas Principales de la matriz de distancias entre atributos obtenida a partir del coeficiente de similitud por empates simples.

En el gráfico 5.10, los ejes ortogonales representan los dos primeros ejes del plano factorial generados por el análisis de coordenadas principales de la matriz de distancias entre atributos.

En el mismo, se observa, en una simple inspección visual, la formación de sectores, teniendo en cuenta los diferentes cuadrantes. Esto se debe a que las variables tienden a agruparse según sus distancias y problemática.

De los análisis estadísticos previos, se dedujo que los atributos relacionados con las condiciones técnicas se podían agrupar en dos subgrupos; los atributos relacionados con los sistemas de expresión gráfica en tres subgrupos; y los relacionados con la generalización cartográfica en un solo subgrupo. En base a estas conclusiones parciales se tomó la determinación de reducir la matriz original expresando los datos en una nueva matriz resultado de la combinación lineal de las variables originales.

Tabla 5.7.- Tabla resumen del análisis estadístico en relación a los grupos y subgrupos de variables

Grupo de variables (atributos)	Atributos relacionados	Sub grupos de variables Atributos relacionados	Atributos relacionados	Nueva denominación
Condiciones técnicas	10 atributos relacionados	ESC, PRO, Condiciones Geodésicas	7 atributos relacionados	CT
		Metodología empleada en la elaboración	3 atributos relacionados	MET
Sistemas de expresión gráfica	17 atributos relacionados	ROT, ABR, TOP	3 atributos relacionados	ESC
		Variables visuales Símbolos convencionales Representación del relieve	13 atributos Relacionados	VVR
		IM	1 atributo relacionado	IM
Generalización cartográfica	3 atributos relacionados	SEL ESQ ARM	3 atributos relacionados	GC

Resumiendo, la matriz de datos cualitativos original contaba de 30 variables (30 columnas) por 20 observaciones (20 filas) que generaban un total de 600 valores de apreciación cualitativa, la nueva matriz deducida de la anterior cuenta de 6 variables, como resultado de un proceso de combinación de los atributos originales, por 20 observaciones lo que generaba un total de 120 valores.

Se realizó un nuevo análisis multivariado, y se tomó como valor de apreciación cualitativa para cada observador, la moda (valor que más veces se repite) dentro de cada nuevo grupo de variables.

Tabla 5.8.- Nueva matriz de datos cualitativos obtenida a partir de la original

	CT	MET	ESC	VVR	IM	GC
OBS1	3	2	3	2	2	2
OBS2	3	2	3	2	2	1
OBS3	3	3	3	2	2	2
OBS4	3	2	3	3	3	2
OBS5	3	2	2	2	3	1
...

Se realizó un nuevo análisis de conglomerados a partir de la matriz de distancias generada por el coeficiente de similitud de empates simples.

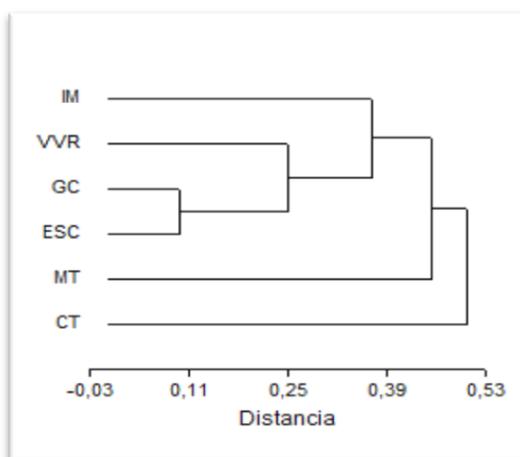


Gráfico 5.11.- Dendrograma resultante del algoritmo “encadenamiento promedio” aplicado a la matriz de distancias obtenida a partir del coeficiente de similitud por empates simples

Con una simple observación del dendrograma se aprecia la corta distancia que existe entre el grupo de las variables incluidas en las variables visuales, símbolos convencionales y representación del relieve (VVR) y la generalización cartográfica (GC), dicha distancia no es cero pero se puede deducir la estrecha relación entre ambos grupos de atributos. Las condiciones técnicas, la metodología empleada en la elaboración de la carta y las informaciones marginales, forman grupos separados con distancias mayores con respecto a los demás grupos. Todo lo referente a la escritura también podría tomarse como un grupo independiente.

A continuación se realizó un nuevo análisis de correspondencia para estudiar en conjunto las relaciones de dependencia y la forma de asociación entre las nuevas variables. Se pudo observar a través del mismo el “peso significativo en control de calidad de una carta topográfica” que tiene estas variables deducidas por asociación y combinación lineal de las variables originales.

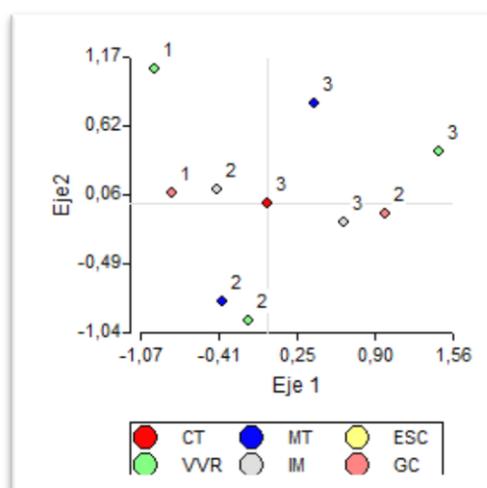


Gráfico 5.12.- Representación en el plano factorial del análisis de correspondencia de los distintos atributos.

Se observa con claridad, como se expresó anteriormente, que existe una estrecha relación entre las variables visuales y la generalización cartográfica.

Para continuar con el estudio de la componente temática, se asignó “peso” a los diferentes grupos de atributos o a determinados atributos por separado, con el objetivo de contar con una serie de valores resultantes de apreciaciones cualitativas y de conclusiones obtenidas a partir de análisis estadísticos.

“...El peso es un valor adimensional, es libre, no está unívocamente determinado por definición, sino por el empleo o uso que se hace del mismo...” (Pina³⁴, 2002).

Cuando se trabaja con variables cuantitativas, obtenidas de un proceso de medición, por lo general, se lo relaciona con los errores cuadráticos, con la varianza, (peso inversamente proporcional al cuadrado del error), con la cantidad de observaciones realizadas (peso directamente proporcional al número de observaciones), o con modelos de medición más complejos (peso por conformación geométrica del modelo de medición); con el objetivo de comparar observaciones de distinta precisión.

Para este estudio en particular, al trabajar con variables categóricas, se asignará peso en función de la cantidad de variables analizadas, de grupos o subgrupos de variables. Se tendrán en cuenta los análisis anteriores para lograr, apoyados en los mismos, un refinamiento de las conclusiones.

³⁴ Pina, A.I (2002), “Teoría de Errores y Cálculo de Compensación”, Notas de clase , Universidad Nacional de Córdoba

Tabla 5.9.- Tabla de asignación de pesos

Grupo de variables (atributos)	Sub grupos de variables Atributos relacionados	Denominación	Criterio para la asignación de peso	Peso
Condiciones técnicas	ESC, PRO, Condiciones Geodésicas	CT	7 atributos	7
	Metodología empleada en la elaboración	MET	3 atributos	3
Sistemas de expresión gráfica	ROT, ABR, TOP	ESC	3 atributos	3
	Variables visuales Símbolos convencionales Representación del relieve	VVR	13 atributos	13
	IM	IM	1 atributo	1
Generalización cartográfica	SEL ESQ ARM	GC	3 atributos	3

La tabla 5.9 es simplemente orientativa, está relacionada con las conclusiones parciales obtenidas de los análisis estadísticos anteriores. El peso es libre, puede variar de acuerdo a los atributos observados, al tipo de variable empleada y al criterio empleado en la asignación del peso.

En este caso, los subgrupos de mayor peso son los que mayor cantidad de variables poseen, los de mayor “peso significativo” al momento de controlar la exactitud temática de una carta topográfica.

Analizando la tabla, se observa que los atributos relacionados con los sistemas de expresión gráfica son los de mayor peso. Esto es correcto si se tiene presente que constituyen la parte de la carta en la que predominan los valores estéticos, en donde, todo debe ser no solo agradable a la vista y claro, sino también compatible entre sí para conseguir un conjunto armónico y obtener una buena calidad temática.

Dependiendo de la metodología empleada en la elaboración de la carta, se podrá darle más peso a este grupo de atributo que a otro.

Tal como se la ha planteado, la asignación de pesos, existen sub grupos que tiene igual peso. Todo lo referente a la escritura es tan importante a evaluar como la generalización cartográfica. Estas dos, a su vez, dependen de las condiciones técnicas, en especial de la escala.

Cualquier usuario de cartas topográficas, sea experto o no, debería poder contar con una tabla sencilla, orientativa del peso de los distintos grupos de variables para que con una simple inspección visual pueda obtener sus propias conclusiones.

5.3.4.- Conclusiones particulares del análisis estadístico de la calidad temática

Algo importante a destacar es que las condiciones técnicas son variables básicas, a tener en cuenta en el momento de planificar la elaboración de cartografía, sobre todo la confección de cartas topográficas a escalas grandes, con fines específicos como los planteados en este trabajo en particular. En estos casos toma una importancia relevante la metodología empleada en la elaboración de la misma.

Dentro de los sistemas de expresión gráfica las variables visuales forma puntual, forma lineal, forma zonal, color, valor, grano y los signos convencionales de implantación puntual, implantación lineal, implantación zonal, son importantes en el momento de la determinación de la calidad de la carta. Ahora bien la variable visual forma y los signos convencionales toman las mismas frecuencias, como consecuencia de que los segundos son una aplicación directa de las primeras, y sus posibles combinaciones, por lo que los podríamos agrupar en una única variable relacionada con la forma y su signo de implantación correspondiente. Lo mismo podemos decir de las variables visuales color, valor y grano, y de aquellos atributos relacionados con la escritura, como la rotulación, las abreviaturas y la toponimia. También toma un sentido importante la representación topográfica del relieve.

Sé sabe que, el principio fundamental que debe respetarse para conservar la claridad y calidad de una carta, es no sobrecargarla de información superflua, por lo que el proceso de generalización cartográfica es sumamente importante. Las variables selección, esquematización y armonización deben ser tenidas en cuenta en el momento de evaluar la calidad de una carta topográfica.

Si bien en el análisis se observó que la variable esquematización tenía, en cierto sentido mayor peso que las otras dos, todas deben ser tenidas en cuenta, se las puede analizar como un solo grupo íntimamente relacionado con los sistemas de expresión gráfica, ya que se demostró fehacientemente que generalización depende de los mismos.

5.3.5- Comparación estadística de ambas componentes

Como parte de este estudio, se realizó un Análisis de Procusto con el objetivo de consensuar las dos configuraciones, la obtenida mediante la utilización de una escala métrica cuyos datos de entrada son las variables cuantitativas (componente posicional: precisión planimétrica y precisión altimétrica) y la obtenida con una escala no métrica (componente temática: atributos); y de esta manera estudiar simultáneamente ambas componentes.

Para lograrlo, se calculó la matriz de distancias obtenida a partir del coeficiente de similitud por empates simples para la componente temática y a partir del análisis de coordenadas principales se generaron las componentes que entraron en el análisis junto a las variables de carácter cuantitativo (componente posicional).

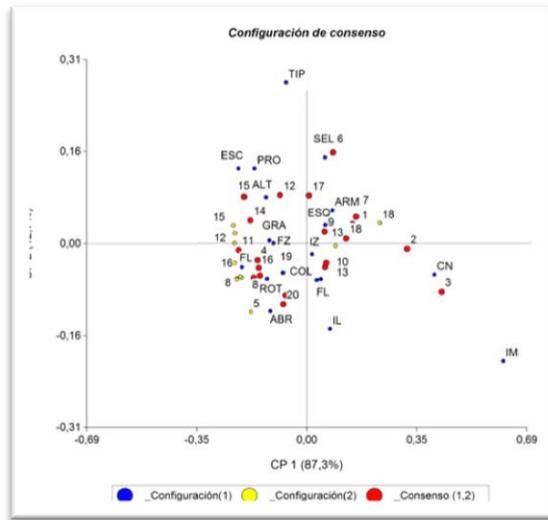


Gráfico 5.13.- Representación de las configuraciones en los primeros ejes del plano factorial generado por el Análisis de Procusto

El gráfico 5.13 es el gráfico de consenso, obtenido a partir de la superposición del gráfico obtenido por escalamiento no métrico y el obtenido por escalamiento métrico, de manera que la suma residual de cuadrados sea mínima.

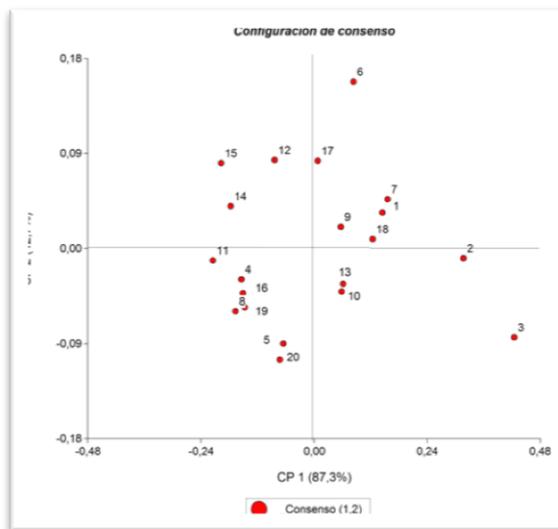


Gráfico 5.14.- Representación en los primeros ejes del plano factorial generado por el Análisis de Procusto

Si se observa con detalle este gráfico de consenso, se ve que es semejante al gráfico obtenido a partir del análisis de coordenadas principales, lo que nos está dando la pauta, de que ambas configuraciones, son semejantes. Los criterios de clasificación para la obtención de ambos gráficos son similares.

Esta conclusión a la que se arriba es sumamente importante, ya que como se expresó desde un principio, ambas componentes, la temática y la posicional adquieren igual importancia en el estudio de la calidad de una carta topográfica. Se puede afirmar, estadísticamente hablando, que ambas componentes poseen igual peso, y no se puede analizar una sin tener presente la otra.

5.3.6.- Resumen de los análisis y métodos estadísticos empleados en el control de la calidad de la carta topográfica.

Se observó en total 33 variables, 30 cualitativas (atributos) y tres cuantitativas, (precisión cartográfica).

La matriz de variables cuantitativas original contó de 20 filas (20 puntos de control) por 3 variables cuantitativas $((\Delta X - \Delta \bar{X})^2 ; (\Delta Y - \Delta \bar{Y})^2 ; (\Delta Z - \Delta \bar{Z})^2)$. Con los diferentes test estadísticos aplicados, se la redujo a dos columnas (precisión planimétrica $((\Delta X - \Delta \bar{X})^2 + (\Delta Y - \Delta \bar{Y})^2)$ y precisión altimétrica $(\Delta Z - \Delta \bar{Z})^2$).

La matriz de datos cualitativos original contó de 30 variables (30 columnas) por 20 observaciones (20 filas) lo que generó un total de 600 valores de apreciación cualitativa; la matriz reducida obtenida a partir de las técnicas multivariadas aplicadas, contó de 6 variables, como resultado del proceso de combinación de los atributos originales, por 20 observaciones lo que generó un total de 120 valores. Se evaluaron los atributos con una escala de valoración cualitativa (3: muy bueno, 2: bueno, 1: regular, 0: mala).

En el tratamiento de los datos se le dio igual peso o importancia a ambas matrices, ya que como explicó anteriormente, las dos variables deben ser tenidas en cuenta en el momento de analizar la calidad de una carta.

Para el tratamiento de la matriz de datos cuantitativos (componente posicional o precisión cartográfica), se emplearon diferentes test estadísticos con contrastes de hipótesis (test de normalidad, igualdad de medias, de varianza) y se aplicaron normas técnicas y estándares de control posicional internacionales.

Para el tratamiento de la matriz de datos cualitativos, se emplearon métodos multivariados, para resumir y sintetizar la gran cantidad de datos y variables, en función de los objetivos, para poder obtener informaciones válidas que permitieran comprender el fenómeno en cuestión.

Los métodos multivariados actuaron como métodos reductivos y de detección de independencia o dependencia entre variables y grupos de variables.

Para simplificar la estructura de datos, se empleó el método del Análisis de Conglomerados con el objetivo de buscar grupos de individuos o variables similares, lo más homogéneos posibles.

El Análisis de Correspondencia Múltiple sirvió para estudiar las relaciones de dependencia entre los atributos, permitiendo además analizar la forma de asociación entre las mismas. Además se obtuvo una representación en dos dimensiones toda la información contenida en la tabla Burt.

Para obtener un resumen empírico de los datos, un ordenamiento de los atributos según sus diferentes calificaciones categóricas ordinales, se realizó una aproximación a través de un Análisis de Coordenadas Principales. Se generaron los valores que entrarían en juego con los valores cuantitativos para el posterior análisis comparativo de ambas componentes.

Con la aplicación de los diferentes métodos de análisis multivariado se arribó a la conclusión de que la mayoría de los atributos no son independientes entre sí.

De los diferentes análisis, se dedujo que los atributos originales, podían ser divididos en tres grandes grupos con diferente cantidad de subgrupos cada uno. Se asignó peso a los diferentes sub grupos, en función de la cantidad de atributos contenidos en cada uno de ellos.

Con el Análisis de Procusto se consensuó las dos configuraciones, la obtenida mediante la utilización de una escala métrica (componente posicional) y otra con una escala no métrica (componente temática); de esta manera se estudió simultáneamente ambas componentes.

Se observó en el gráfico de consenso la importancia de considerar en el análisis ambas componentes.

5.4.- Propuesta de categorización de cartas según su exactitud temática

De la misma manera que existen normas técnicas para clasificar las cartas según su exactitud posicional, para asignarlas a una categoría determinada, se podrían elaborar categorías para la exactitud temática, basadas en el peso significativo de las distintas variables que se consideran relevantes en la calidad temática de la misma.

A continuación se elabora una propuesta basada en las conclusiones anteriores.

Para poder asignar cada carta a una categoría se utilizará una escala de valoración cualitativa y el peso de los grupos o sub grupos de atributos.

Escala Valorativa (EV): 3: muy bueno, 2: bueno, 1: regular, 0: mala

1. $\text{Peso (Pi)} * \text{Escala Valorativa (EV)} = \text{Peso Relativo (PRi)}$
2. $\text{Sumatoria de los Pesos Relativos (PRi)} = \text{Peso de Categorización Relativo (PCRi)}$
3. $\text{Peso de Categorización Relativo (PCRi)} / \text{Número de grupos o subgrupos de atributos (N)} = \text{Peso de Categorización (PC)}$.

$$PR_i = P_i * EV$$

$$PCR_i = \sum_{i=1}^N PR_i$$

$$PC = PCR_i / N$$

De acuerdo con ello los pesos relativos de categorización varían entre 0 y 90 y los pesos de categorización entre 0 y 15. (Tabla 5.10).

Por lo que se podrían agrupar en tres categorías, coincidiendo con la cantidad de categorías de exactitud posicional propuestas por diferentes organizaciones cartográficas oficiales y privadas a nivel internacional.

$$\text{Categoría A: } 10 \leq PC \leq 15$$

$$\text{Categoría B: } 5 \leq PC < 10$$

$$\text{Categoría C: } PC < 5$$

Estas categorías dependerán del número de grupos, subgrupos y atributos considerados, del criterio adoptado para asignar los pesos y de la escala valorativa empleada.

La propuesta de categorización está fundamentada en los resultados de los distintos análisis estadísticos empleados.

Tabla 5.10.- Tabla de asignación de pesos para categorización

Grupo de variables (atributos)	Sub grupos de variables Atributos relacionados	Denominación	Peso (Pi)	Peso relativo (PRI = Pi*EV)	Peso de categorización relativo (PRCi = $\sum_{i=1}^N$ PRI)	Peso de categorización (PC=PRI/N)
Condiciones técnicas	ESC, PRO, Condiciones Geodésicas	CT	7	0 ; 7; 14; 21	0; 30; 60; 90	0; 5; 10; 15
	Metodología empleada en la elaboración	MET	3	0 ; 3; 6; 9		
Sistemas de expresión gráfica	ROT, ABR, TOP	ESC	3	0 ; 3; 6; 9		
	Variables visuales Símbolos convencionales Representación del relieve	VVR	13	0 ; 13; 26; 39		
	IM	IM	1	0 ; 1; 2; 3		
Generalización cartográfica	SEL ESQ ARM	GC	3	0 ; 3; 6; 9		



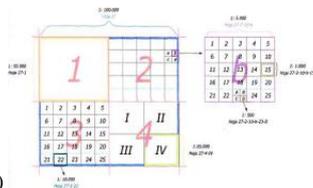
- (1) La ciudad de La Calera se encuentra ubicada en la provincia de Córdoba, sobre la Ruta Provincial E55, que une Córdoba con Biallet Massé. Perteneció al departamento Colón, pedanía Calera Norte, entre los paralelos 31°16' y 31° 23' de latitud Sur, y los meridianos 64° 18', hasta el 64° 24' de longitud Oeste. Comprende el ejido 53 de 144 km²



- (2) QuickBird es un satélite comercial de alta resolución de propiedad y operado por DigitalGlobe. QuickBird utiliza un sensor remoto con un grado de detalle de 0,61 m píxeles de resolución.

Características del sensor espacial QuickBird:

Fecha de lanzamiento	18 de Octubre del 2001
Vehículo utilizado	Boeing Delta II
Ubicación del lanzamiento	Vandenberg Air Force Base, California, E.E.U.U
Altitud de órbita	450 Km
Inclinación de órbita	97.2°, sincronización solar
Velocidad	7.1 Km/segundos - 25,560 Km/hora
Horario de cruce por el Ecuador	10:30 a.m. (nódulo en descenso)
Tiempo en órbita	93.5 minutos
Tiempo de regreso	1-3.5 días dependiendo en latitud (30° off-nadir)
Anchura de ringlera	16.5 Km x 16.5 Km a nadir
Exactitud métrica	23-metros horizontal (CE90%)
Digitación	11 bits
Resolución	Pan: 61 cm (nadir) to 72 cm (25° off-nadir) MS: 2.44 m (nadir) to 2.88 m (25° off-nadir)
Bandas de imagen	Pan: 450 - 900 nm Azul: 450 - 520 nm Verde: 520 - 600 nm Roja: 630 - 690 nm Cerca IR 760 - 900 nm



- (3) La Dirección de Catastro de la Provincia de Córdoba tiene su esquema en lo que se refiere a confección de Cartografía. Tomando como meridiano central -64° y como paralelo -32°, este plan cartográfico nace a partir de 50 hojas a escala 1: 100.000, de 1° de longitud por 30' de latitud, haciendo coincidir los límites con las hojas del Instituto Geográfico Militar. A partir de allí, surgen 150 cartas a escala 1: 50.000 de 30' de longitud por 15' de latitud, las cuales constituyen la base principal del Registro Gráfico de la Provincia. Dividiendo las hojas de escala 1: 50.000, llegamos a hojas de escala 1: 10.000 de 6' longitud por 3' de latitud, las de escala 1: 5.000 de 3' de longitud por 1' 30" de latitud, y las de escala 1: 1.000 de 36" de longitud por 18" de latitud. Y en el caso de que la información que se quiera representar no quedara clara en el plan anteriormente descrito, se procede a la realización de una hoja a escala 1: 500, a partir de la hoja a escala 1: 1.000.

Elaboración y control de calidad de cartas geológicas

6.1.- Elaboración de cartas geológicas

“Las cartas geológicas constituirán el fundamento necesario para realizar el inventario de los recursos naturales no renovables, estimular las inversiones y asentamientos poblacionales en el área de frontera e identificar zonas de riesgo geológico. Aportarán al mismo tiempo a la preservación del medio ambiente, la prevención de los riesgos geológicos y la defensa nacional.” (Art 2- Ley 24224 – Reordenamiento minero)³⁵

La finalidad de las cartas geológicas es la de proporcionar la información referente a la naturaleza, las características de las rocas y el origen de los suelos en un territorio dado.

“El conocimiento geológico es la base que permite el aprovechamiento óptimo de los recursos naturales del territorio. Los estudios geológicos brindan la información esencial para el desarrollo de actividades como la minería, el manejo de aguas subterráneas, la construcción de obras civiles, la preservación del medio ambiente, la prevención de catástrofes naturales y el ordenamiento territorial, entre otros temas, facilitando la captación y aumento de inversiones de capitales en actividades productivas”. (Instituto Nacional de Estadística e Informática de México, 2005)³⁶.

En un mapa o carta geológica se representan, sobre una base planimétrica-altimétrica (mapa topográfico), los diferentes tipos de rocas que afloran en una región determinada. Las rocas se agrupan en unidades geológicas y se estudian las relaciones espaciales y temporales que guardan entre ellas, así como las modificaciones que han sufrido en los diferentes tiempos o eras geológica. Para la realización de una carta geológica, se recopilan y evalúan los antecedentes o trabajos geológicos previos. Sobre la base de esta evaluación y de la interpretación de diversas imágenes, se elabora un mapa geológico preliminar y que se ajusta y/o corrige con el correspondiente control de campo. Con todo ello se elabora el mapa geológico final o definitivo, el cual se acompaña con una memoria explicativa lo más completa posible.

La confección de cartas geológicas está basada fundamentalmente en la fotointerpretación geológica de fotografías aéreas y de imágenes espaciales obtenidas por medio de satélite.

³⁵ Honorable Cámara de Diputados de la Nación LEY 24.224 - REORDENAMIENTO MINERO <http://www1.hcdn.gov.ar>

³⁶ Instituto Nacional de Estadística e Informática (2005). *Guía para la interpretación de cartografía geológica* – México.

Cada tipo de roca o rasgo geológico desarrolla formas del relieve particulares y apariencias fotográficas distintas.

La visión estereoscópica que se puede obtener de las fotografías aéreas de una porción del terreno, permite marcar límites entre las diferentes unidades de roca y observar las relaciones estratigráficas y estructurales que existen entre ellas. Por otro lado, la perspectiva que brindan las imágenes satelitales permite observar lineamientos estructurales de carácter regional, que es difícil detectar en las fotografías aéreas.

En la elaboración de las cartas, se inicia con la recopilación y el análisis de información previa, elaborada por instituciones públicas y privadas, sobre el área a estudiar. La segunda etapa la constituye una visita preliminar al área de interés. Esta etapa, al igual que la primera, tiene por objeto la recopilación de datos y el establecimiento de criterios para llevar a cabo una adecuada interpretación de las imágenes.

La interpretación sobre las características geológicas constituye la tercera etapa, que es la más importante en la metodología de elaboración de las cartas geológicas. En esta fase se marcan con claves a las unidades litológicas y con símbolos los rasgos estructurales que se detectan, así como las actividades geológico-económicas relacionadas con ellos.

El resultado de la interpretación se confronta directamente con la verificación de campo del área de la carta que, para cada escala, se efectúa con métodos específicos.

En la etapa de reinterpretación se vierten sobre las fotografías aéreas o imágenes de satélite todos los datos recabados en el campo y los resultados de los estudios de laboratorio de las muestras reunidas. En esta etapa se corrige y enriquece el trabajo de interpretación original, a la luz de los datos de campo.

En la etapa final de la representación gráfica, la confección de la simbología adecuada consiste en determinar si existen o no convenciones a respetar, y en la definición de símbolos mediante variables visuales.

“...Solo podrán utilizarse variables que posean las propiedades de perceptivas asociativas aplicadas a símbolos de puntos, líneas o superficies según la propiedad dimensional de los datos que se trate...” (Paira A.R., 2007)³⁷

Es importante, además recalcar el uso del símbolo zonal o superficial en este caso, y en la mayoría de los mapas cualitativos que se confeccionan con esta clase de símbolos.

Por lo expuesto, vemos la necesidad de recordar principios básicos de fotointerpretación, fotogeología con una especial aplicación al reconocimiento del territorio.

³⁷ Paira, A. R. (2007). *Introducción a la cartografía Temática*- Universidad nacional del Litoral

6.1.1. – Principios de fotointerpretación, fotogeología, unidades ambientales, aplicados al reconocimiento del territorio

“...Cuando se pretende interpretar, los diversos objetos, estos deben ser detectados dentro del laberinto de la información fotografiada. Una vez detectados, deben ser identificados. Para ser identificados, los objetos deben clasificarse de acuerdo con una serie de criterios: Tamaño, forma, sombras, tonalidad, localización, textura, patrón de distribución y relaciones con los objetos vecinos. Estos factores intervienen en el proceso de fotointerpretación, en etapas sucesivas y complementarias entre sí...” (Quintana Salvat, F.; Serra, W. ,2010)³⁸.

Antes de comenzar con la tarea de fotointerpretación, es necesario determinar en primer término el objeto de estudio, puesto que éste indicará los elementos de análisis y las pautas que se deben seguir en la fotointerpretación, y en segundo término, es necesario precisar el nivel de detalle en la información, el que está dado por la escala del trabajo, pero en cualquier caso, el área de estudio se localiza dentro de un conjunto más amplio con el que guarda estrecha relación.

De acuerdo con la tarea encarada, una obra vial por ejemplo, el primer paso en el análisis es la identificación de áreas homogéneas, estas áreas se reconocen por características similares de textura, intensidad en las tonalidades de gris, patrón de distribución, geoformas (que incluyen relieve, morfología, pendientes, etc.) uso de la tierra, vegetación.

Teniendo en cuenta los objetivos planteados en las distintas etapas de una obra (anteproyecto, proyecto, ejecución o mantenimiento), las actividades de fotointerpretación deben conducir a elaborar una serie de documentos cartográficos. La concreción de éstos representa la última etapa de la fotointerpretación y son la síntesis que resume todo el trabajo.

Con respecto al tema planteado anteriormente, se considera conveniente, repasar algunas definiciones y conceptos básicos:

- **Geoforma.** El término geoforma hace referencia a una unidad simple y característica del terreno que forma parte de la superficie terrestre. A cada elemento del paisaje geomorfológico que pueda ser reconocido completamente y que tenga una forma consistente o cambie su forma de manera regular. Es decir, una superficie continua que puede ser reconocida en su totalidad por un observador, se encuentre el mismo con sus pies sobre la tierra u orbitando alrededor del planeta.

³⁸ Quintana Salvat, F.; Serra, W. (2010). *Fotointerpretación aplicada al reconocimiento del terreno* – Universidad nacional de Córdoba

- **Litología.** La litología es la parte de la geología que trata de las rocas, especialmente de su tamaño de grano, del tamaño de las partículas y de sus características físicas y químicas. La litología es fundamental para entender cómo es el relieve, ya que dependiendo de la naturaleza de las rocas se comportarán de una manera concreta ante los empujes tectónicos, los agentes de erosión y transporte, y los diferentes climas de la Tierra.
- **Tectónica.** La tectónica es la especialidad de la geología que estudia las estructuras geológicas producidas por deformación de la corteza terrestre, las que las rocas adquieren después de haberse formado, así como los procesos que las originan.
- **Hidrología.** La hidrología es la ciencia que se dedica al estudio de la distribución, espacial y temporal, y las propiedades del agua presente en la atmósfera y en la corteza terrestre. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares, cursos fluviales permanentes e intermitentes, como así también episódicos.

6.1.2.- El problema de la representación cartográfica de cartas geológicas.

En Argentina, los usuarios tradicionales de cartas geológicas estaban relacionados con la investigación académica, la minería y los recursos naturales. Sin embargo, hoy día una mayor cantidad y variedad de nuevos usuarios demandan este tipo de información. Entre las aplicaciones más frecuentes caben destacarse las obras públicas, el urbanismo, la planificación regional y, especialmente, los proyectos relacionados con los problemas medioambientales: desertización, erosión, pérdida de suelo y los desastres naturales.

A pesar de varios intentos, no existe una normalización, generalmente aceptada, en la publicación de cartas geológicas, coexistiendo métodos propios con variantes o adaptaciones de métodos extranjeros. La representación cartográfica de cartas geológicas se ha caracterizado por una ausencia de simbolización normalizada de aceptación general a las distintas escalas.

En la actualidad el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) lleva a cabo por disposición del Poder Ejecutivo Nacional, a través de la Secretaría de Minería Nacional el *Programa Nacional de Cartas Geológicas y Temáticas (1993)* a diferentes escalas. Este programa incluye entre otras cosas, la elaboración del *“Modelo de Hoja Geológica”* y de los procedimientos normalizados para el mapeo geológico-minero.

“Estas normas garantizan una calidad homogénea del producto y una base de datos de rápida disponibilidad. Los objetivos de las mismas apuntan a lo siguiente:

- Establecer una nomenclatura y representación uniforme de las unidades lito-estratigráficas, utilizando un sistema de clasificación y cuadros crono-estratigráficos normalizados.
- Facilitar la interpretación acompañando el mapa con columnas estratigráficas, esquema tectónico, perfiles geológicos.
- Ubicar la hoja en su ámbito geológico regional
- Presentar hojas de fácil lectura y comprensión representando las unidades geológicas con colores, rastras y símbolos apropiadamente seleccionados
- Adaptación a las bases del IGM.”

(Candiani J.C., 2007)³⁹

6.2.- Aplicación práctica: elaboración de una carta geológica a escala 1: 7.500

En el marco de un “convenio de transferencia” entre la Universidad Nacional de Córdoba en representación de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Dpto. de Geología Aplicada, Cátedra de Fotogeología y Teledetección y la Cooperativa de Provisión de Energía Eléctrica y otros Servicios Públicos, Vivienda, Crédito y Servicios Sociales de Santa Rosa de Calamuchita LTDA- , se realizó un “*Estudio fotogeofísico de factibilidad para alumbramiento de aguas subterráneas, en el ejido urbano y periurbano de Santa Rosa de Calamuchita*” (Quintana Salvat F.; Ceballos G., 2006)⁴⁰.

Primeramente, se llevó a cabo un estudio regional orientado a determinar las características hidrológicas de la zona del Valle de Calamuchita y posteriormente un análisis geológico de detalle restringido a un área de 34 km² correspondientes a toda la zona urbana y parte de la suburbana de la localidad de Santa Rosa de Calamuchita⁽¹⁾.

Como parte del trabajo, se confeccionó, entre otras cosas, una carta geológica en escala 1:7.500. Para ello se empleó una imagen IKONOS RGB (Fecha mayo de 2006) de escala aproximada 1:7500, con el apoyo de fotogramas estereoscópicos de escala aproximada 1: 20.000 (Fecha 1962), los cuales sirvieron para precisar la exacta situación y distribución, entre otras, de geformas tectónicas, aluviales, y fluviales, en

³⁹ Candiani J.C. (2007) “Cartografía Geológica sistemática de la Región Centro. Ejemplos prácticos de su utilidad y realización”. En *EXPOSEGEMAR 2007*- Buenos Aires – Argentina.

⁴⁰ Quintana Salvat F.; Ceballos G., (2006) “Estudio fotogeofísico de factibilidad para alumbramiento de aguas subterráneas, en el ejido urbano y periurbano de Santa Rosa de Calamuchita” Universidad Nacional de Córdoba.

estos últimos particularmente, su borde o límite superior. Además por la antigüedad de estos fotogramas permitieron identificar elementos de origen fluvial que en la actualidad se encuentran prácticamente cubiertos de edificación y obras de infraestructura. La posterior y necesaria verificación de campo, dio lugar a la realización de los ajustes y/o correcciones que permitieron llegar a la cartografía fotogeológica de precisión, la cual estuvo orientada a la prospección hidrogeológica, como principal elemento de interés exploratorio.

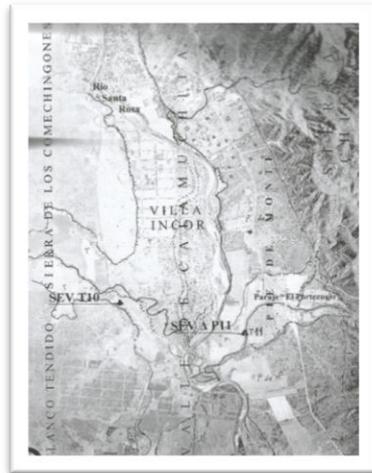


Figura 6.1.

FOTOPLANO NO APOYADO ESCALA APROX. 1:20.000
SECTORES DEL PIE DE MONTE MEDIO/DISTAL (A° Quebrada Honda) Y FLANCO TENDIDO DE LA SIERRA. COMECHINGONES (Loteo Sta. Sección) - SECTOR SUROESTE DE LA CIUDAD

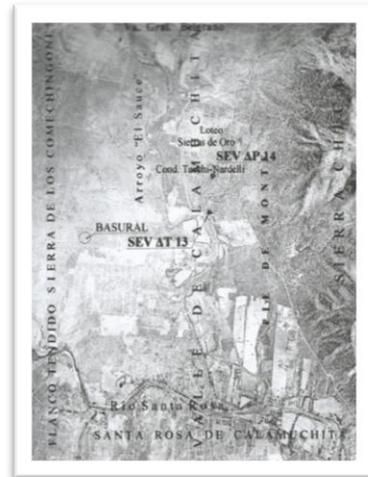


Figura 6.2.

FOTOPLANO NO APOYADO ESCALA APROX. 1:20.000
SECTOR ARROYO "EL SAUCE" (Paraje La Húngria) - CONDOMINIO TACCHI - NARDELLI (SECTOR NORTE DE LA CIUDAD)
(Se obs. acometida del arroyo al río Santa Rosa y predio del basural)

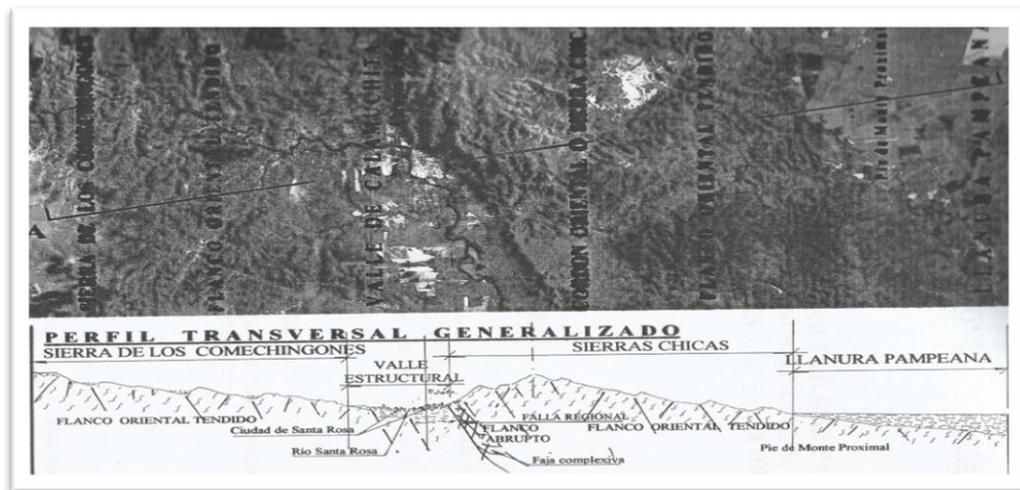


Figura 6.3.- Perfil Transversal generalizado (Fuente: Quintana Salvat F., Ceballos G., 2006)⁴¹

⁴¹ Quintana Salvat F.; Ceballos G., (2006) "Estudio fotogeofísico de factibilidad para alumbramiento de aguas subterráneas, en el ejido urbano y periurbano de Santa Rosa de Calamuchita" Universidad Nacional de Córdoba.

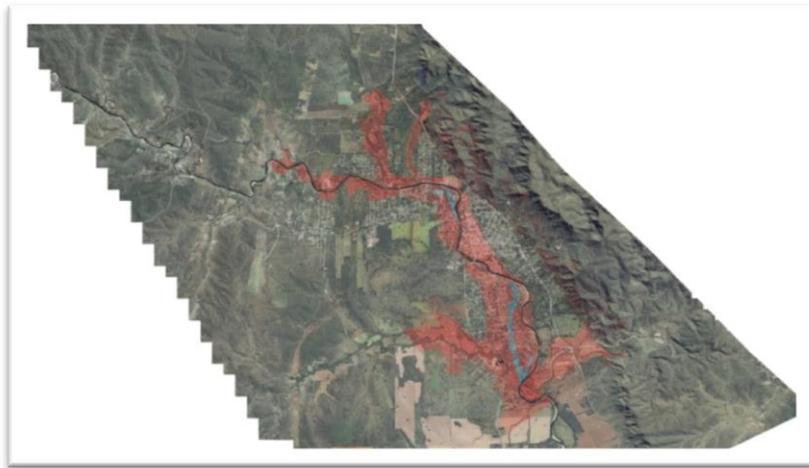


Figura 6.4.- Imagen IKONOS RGB – Escala Aprox. 1:7.500

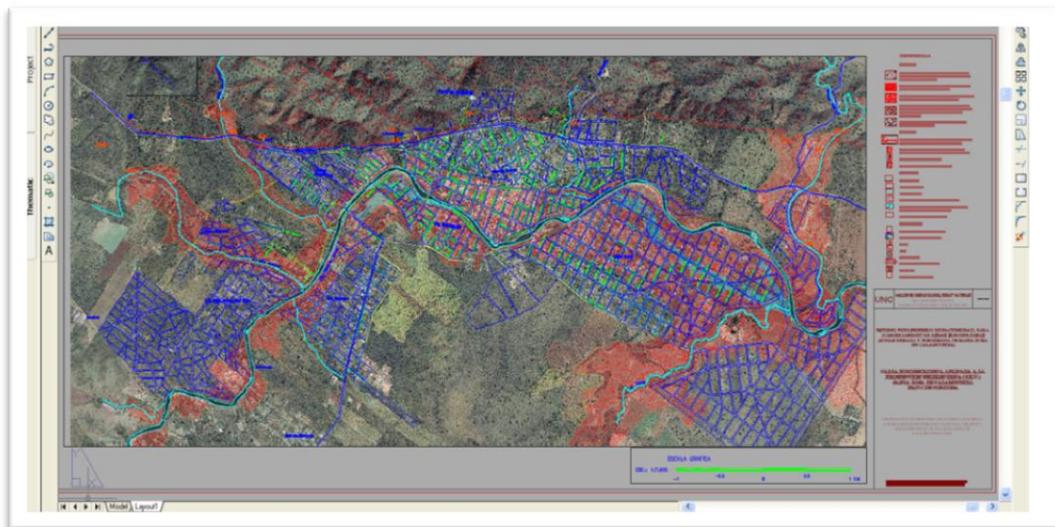


Figura 6.5.- Carta Geológica –Escala 1: 7.500- Captura de pantalla AutoCad- (Fuente: Quintana Salvat F., Ceballos G., 2006)

6.3.- Control de calidad de la carta geológica.

Por tratarse de una carta geológica se decidió estudiar la exactitud temática de la misma, aplicando los conceptos y metodología propuesta en los capítulos anteriores y recurrir a personas con experiencia en la lectura e interpretación de cartas geológicas.

Siguiendo las pautas establecidas por el SEGEMAR y teniendo presente el fin con que fue elaborada la carta geológica (prospección hidrogeológica como principal elemento de interés exploratorio) y las referencias vertidas en la misma, se decidió estudiar las siguientes variables geológicas, divididas en cuatro grandes grupos que son los que comúnmente se utilizan para definir la calidad temática de una carta geológica:

- **Variables litológicas:** arcillas, areniscas, conglomerados, rocas volcánicas, rocas de basamento cristalino (metamórficas y plutónicas), depósitos fluviales y depósitos de pie de monte (principalmente fanolomerados, que son depósitos

fluviales que conforman conos aluviales constituidos de planicies onduladas que se desarrollan al pie de un macizo montañoso).

- **Variables tectónicas:** falla de empuje de alto ángulo, zona de intensa fracturación en rocas, fractura con o sin desplazamiento; fracturas menores del sistema, entre otras.
- **Variables hidrológicas:** incluyen los diversos diseños de drenaje, además de diseños unitarios de cursos fluviales permanentes, intermitentes y episódicos, los torrentes, los uadi y las arroyadas difusas de pie de monte. Se incluyen también las arroyadas elementales en sus formas difusa y concentrada; esta última es generadora de cárcavas, es decir surcos más o menos largos de bordes vivos, desarrollados en materiales blandos, su máxima expresión la constituye el “mal país”, más conocido por su expresión anglosajona “Bad Lans”.
- **Infraestructura:** rutas nacionales, rutas provinciales, caminos principales; caminos secundarios, calles urbanas; puentes; azud; red de distribución de agua, etc.

Estas variables dentro de los cuatro grandes grupos, pueden cambiar, aumentar o disminuir.

Como primera medida se estudió las referencias incluidas en el producto final en, la carta geológica a escala 1: 7.500.

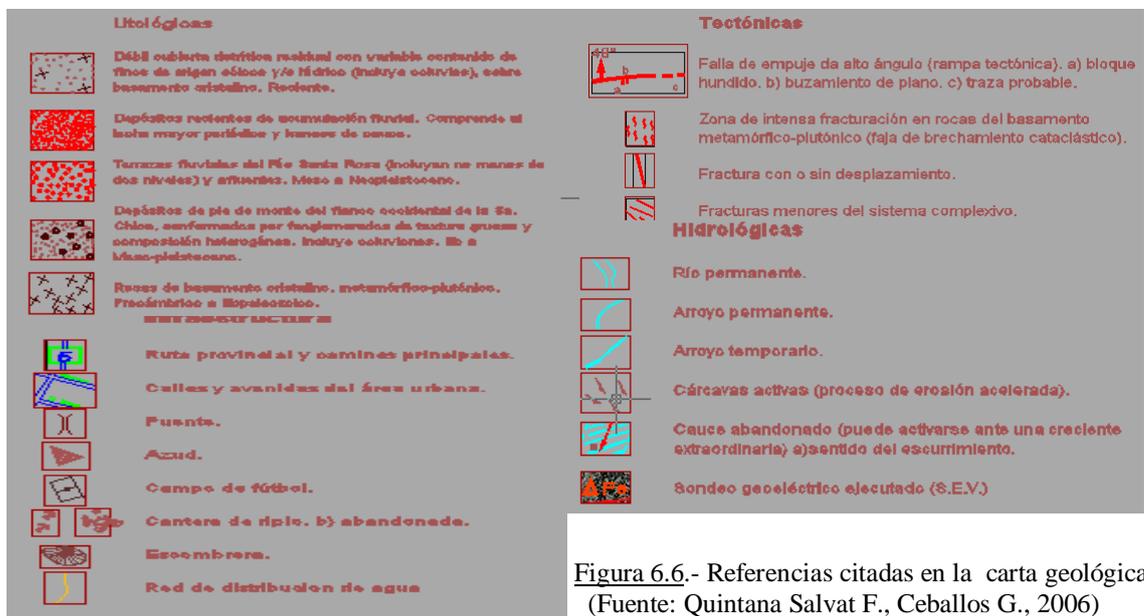


Figura 6.6.- Referencias citadas en la carta geológica (Fuente: Quintana Salvat F., Ceballos G., 2006)

De acuerdo a ellas, en la carta están representadas: 5 variables litológicas, 4 variables tectónicas, 5 variables hidrológicas, 8 variables de infraestructura.

6.3.1. – Estadística descriptiva

Para comenzar el estudio de la calidad temática, se decidió realizar una estadística descriptiva con datos obtenidos de simples observaciones al producto final, la carta impresa, para tener una visión global de la calidad de las variables geológicas representadas.

Se consultó a 10 alumnos avanzados de la carrera de Geología de la Universidad Nacional de Córdoba, y se les pidió que observando visualmente la carta impresa, anotaran cuantas variables litológicas, tectónicas, hidrológicas y de infraestructura, diferentes, podían distinguir.

Estos resultados se volcaron en una tabla.

Tabla 6.1.- Cantidad de variables geológicas diferentes distinguidas por cada observador

	LIT	TEC	HIDRO	INERA
OBS1	4	4	4	6
OBS2	5	4	5	6
OBS3	4	3	5	5
OBS4	4	3	4	7
OBS5	4	3	5	5
...
PROM	4,2	3,5	4,4	5,9

Los observadores distinguieron un promedio de 4,2 variables litológicas, 3,5 variables tectónicas, 4,4 variables hidrológicas y 5,9 de variables de infraestructura diferentes.

De la comparación de este promedio, con la cantidad de variables representadas en la carta, según lo citado en las referencias, se dedujo, como una conclusión general, que todas las variables tenían semejante calidad de representación, habiendo podido distinguir los observadores cantidades parecidas de variables diferentes.

Se observó el peso significativo que tienen los cuatro grandes grupos de variables geológicas estudiadas en la calidad temática de la carta.

Se debe tener presente siempre, el fin con la que es elaborada una carta geológica determinada, ya que esto influye en la calidad de representación de algunas variables.

En este caso en particular, “la prospección hidrogeológica como principal elemento de interés exploratorio” fue un factor importante en la representación gráfica de la litología y la hidrografía, según lo expresado por varios de los observadores y lo reflejado en los resultados volcados en la tabla.

Ahora bien, cualquiera sea en objetivo o fin con que se elabore una carta geológica, y en general cualquier tipo de carta temática en la que se vuelquen mayoritariamente

datos cualitativos, es relevante el adecuado uso de las variables visuales. Estas variables son un elemento clave de la legibilidad y capacidad de transmisión de información de la cartografía analógica y digital.

Según Jaques Bertin autor de Semilogie Graphique ⁽³⁾ (1967) y otras publicaciones sobre el estudio teórico de la expresión gráfica y sus aplicaciones científicas, esas variables son: forma, tamaño, orientación, color, valor, grano. (Fuente Bartaburu, S.G., 1994)⁴²

Dada la importancia de las variables visuales en la visualización de la calidad de la información geológica representada en la carta, es que se tomó la determinación de diseñar un experimento estadístico para evaluar la efectividad de dichas variables.

6.3.2.- Diseño de experimento. Experimento unifactorial para evaluar la efectividad de las variables visuales

“...Las nuevas posibilidades de visualización de las variables (color, tamaño, orientación), así también como los hábitos de utilización y perfiles de los usuarios ha cambiado notablemente. Frente a las nuevas situaciones el Análisis de la Varianza (ANAVA) es una técnica muy adecuada para ensayar opciones y tomar decisiones...” (Alba-Fernandez, M.V. ,2013)⁴³

El objetivo del experimento fue el de evaluar la efectividad de ciertas variables visuales en la visualización de la información geológica volcada en la carta. En concreto se planteó estudiar cómo ciertas variables visuales como la orientación, color, tonalidad del color y textura, influyen en la capacidad de una persona con cierto grado de experiencia en la interpretación de cartas geológicas, en la identificación y diferenciación de distintas clases litológicas.

Para la realización se contó con un conjunto de 10 expertos, en la mayoría geólogos. Se empleó un cronómetro y se les pidió a los profesionales que pulsaran el mismo tan pronto como fuesen capaces de diferenciar una variable litológica diferente, así como indicar que tipo de variable visual, había sido clave en detectarla.

La variable respuesta fue el tiempo en segundos que empleaba cada persona en detectar una clase litológica diferente, según las variables en estudio: color, valor (tonalidad del color), grano (textura) y orientación. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6.2.

⁴² Bartaburu S.G, (1994), “La Carta Topográfica”, p.42

⁴³ Alba-Fernandez, M.V. (2013) Diseño de experimentos en Información Geográfica. En: Experto Universitario en Gestión de la Calidad de la Información Geográfica. Universidad de Jaén, Jaén, España

Tabla 6.2.- Respuesta en segundos al reconocimiento de distintas clases litológicas según las variables visuales en estudio empleadas

TRATAMIENTOS	OBS1	OBS2	OBS3	OBS4	OBS5	OBS6	OBS7	OBS8	OBS9	OBS10
T1 –color	0,65	0,55	0,52	0,62	0,57	0,52	0,53	0,49	0,56	0,57
T2 –valor	1,71	1,84	1,69	1,89	1,87	1,92	1,98	1,87	1,95	1,86
T3-grano	0,79	0,86	0,87	0,74	0,98	0,86	0,82	0,79	0,94	0,88
T4- orientación	0,98	0,99	0,88	0,97	0,86	0,94	0,96	0,87	0,99	0,94

Para analizar la efectividad de las variables se siguieron los siguientes pasos

1. Planteo del modelo para la variable respuesta

Modelo para la variable respuesta:

$$y_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij} \quad i=1, 2, \dots, t ; j=1, 2, \dots, n_i$$

y_{ij} = variable respuesta en la unidad experimental j a la que se le ha aplicado el tratamiento i (tiempo en segundos que tarda cada persona en detectar una clase litológica diferente por cada variable visual estudiada). Cantidad de variables respuestas: N = 40

i= tratamientos: variables visuales seleccionadas para estudiar y evaluar su efectividad en la diferenciación de clases litológicas (color, valor, grano y orientación). Cantidad de tratamientos t =4

j= unidades experimentales: conjunto de 10 personas con conocimientos previos de en la lectura e interpretación de cartas geológicas. Cada persona es una unidad experimental. Cantidad de unidades experimentales: n = 10

n_i =número de unidades experimentales a las que se les ha aplicado el tratamiento i

μ_i = valor medio de la variable respuesta bajo el tratamiento i

ε_{ij} = error aleatorio ($\varepsilon_{ij} = y_{ij} - \mu_i$)

2. Contraste asociado a la igualdad del efecto de las variables visuales consideradas como factor en el experimento

Se buscó determinar si el tiempo de respuesta medio a la diferenciación de clases litológicas se ve afectado por el tipo de variable visual seleccionada para este diseño experimental, es decir, si μ_i representa el tiempo medio de distinción de las diferentes clases de litología.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_t$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \quad i \neq j$$

O en forma equivalente contrastar la igualdad del tiempo de respuesta a la distinción de las clases litológicas en la carta geológica por cada variable visual asociada.

$$H_0 = t_1 = t_2 = \dots = t_t = 0$$

$$H_1 = t_i \neq t_j \quad i \neq j$$

3. Cálculo del ANAVA y el p-valor asociado al contraste planteado

Tabla 6.3.- Tabla de ANAVA del experimento desarrollado

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Tratamientos	9,4627	3	3,1542	670,7558
Error	0,1693	36	0,0047	
Total	9,6320	39		

Se rechaza H_0 ($F_{\text{exp}} = 670,7558 > F_{0,95;3;36} = 2,8663$).

$$p = P[F_{3;36} > 670,7558] = 1,2411E-31$$

$p < \alpha = 0,05$. Se rechaza H_0

El rechazo de la hipótesis nula de igualdad de medias del tiempo de respuesta estimado para las diferentes variables visuales estudiadas, significa que existen variables visuales más efectivas que otras en la visualización de la información geológica, en este estudio las variables litológicas.

4. Cálculo del coeficiente de determinación asociado como porcentaje de la variabilidad total explicada por el modelo.

Como medida del grado de variabilidad presente en el tiempo medio de respuesta a la diferenciación, que introduce cada una de las variables visuales seleccionadas se calculó el coeficiente de determinación.

$$R^2 = \frac{SCTR}{SCT} = \frac{9,4627}{9,6320} = 0,9824$$

Se concluyó que el 98,24% de la variabilidad observada en el tiempo medio de respuesta a la diferenciación de las distintas clases litológicas, se explica mediante el factor estudiado: variable visual seleccionada para este diseño experimental.

A continuación se realizó una diagnosis o validación del modelo para comprobar las condiciones de aleatoriedad, normalidad y homocedasticidad, ya que las técnicas de ANAVA, así como cualquier otro análisis estadístico que se basa en una serie de hipótesis sobre el comportamiento de las variables (p.e. los test de control posicional estudiados en el capítulo 5), no pueden hacerse sin comprobar que esas hipótesis realmente se cumplen, pues en caso contrario los resultados de la técnica estadística no tienen ninguna validez y pueden llevar a tomar decisiones equivocadas.

5. Cálculo de los residuos correspondientes al modelo

$$e_{ij} = y_{ij} - \bar{y}_l \quad j=1, 2, \dots, n_i; i= 1, 2, \dots, t$$

Tabla 6.4.- Tabla de residuos correspondientes al modelo

Tratamiento	Residuos									
Color	0,092	-0,01	-0,04	0,062	0,012	-0,04	-0,03	-0,07	0,002	0,012
Tonalidad	-0,15	-0,02	-0,17	0,032	0,012	0,062	0,122	0,012	0,092	0,002
Textura	-0,06	0,007	0,017	-0,11	0,127	0,007	-0,03	-0,06	0,087	0,027
Orientación	0,042	0,052	-0,06	0,032	-0,08	0,002	0,022	-0,07	0,052	0,002

6. Representación gráfica de los residuos para la determinación si los mismos son aleatorios o no

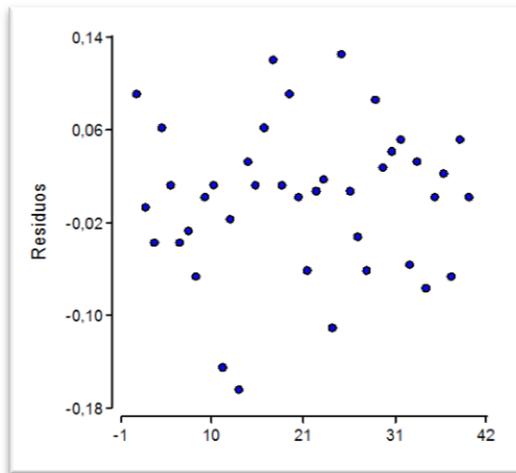


Gráfico 6.1.- Gráfico de dispersión de los residuos

Se observa que los residuos son aleatorios, la representación gráfica no muestra patrón de comportamiento definido en ningún sentido concreto.

7. Representación gráfica de los residuos para determinar si los mismos siguen una distribución normal.

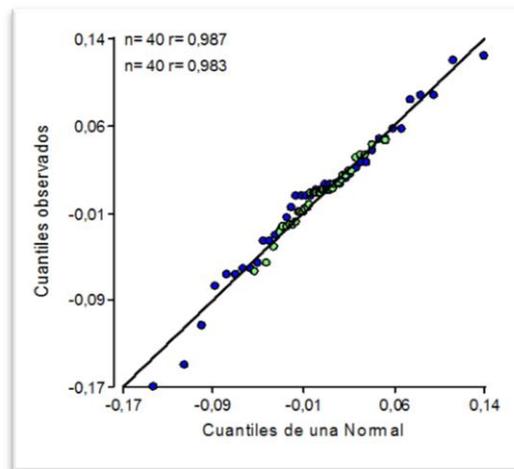


Gráfico 6.2.- Gráfico para la determinación de la normalidad de los residuos

Las parejas de puntos $(e_{(r)}, \phi^{-1}(\frac{r-0,5}{N}))$; $r=1,2,\dots,N$ están sobre una línea recta. Las observaciones cumplen con la hipótesis de normalidad.

8. Test para la determinación de la homogeneidad de varianzas según las variables visuales incluidas en el modelo (color, valor, grano y orientación)

El test de Barlett es, en este caso en particular, el más adecuado ya que los gráficos y análisis anteriores nos dan seguridad de la normalidad de las observaciones. Este test es sencillo de aplicar pero es sensible a la falta de normalidad.

$$H_0: \sigma^2_1 = \sigma^2_2 = \sigma^2_3 = \sigma^2_4$$

$$H_1: \exists i, j / \sigma^2_i \neq \sigma^2_j$$

$$\chi^2 = \frac{(N-1) \ln CME - \sum_{i=1}^t (n_i - 1) \ln S_i^2}{1 + \frac{1}{3(t-1)} \left(\sum_{i=1}^t \frac{1}{n_i - 1} - \frac{1}{N-1} \right)}$$

$$\chi^2 = 5,2275$$

N=40

t=4

n=10

CME= 0,04702 cuadrado del error medio

$S_i^2 = \frac{1}{n_i - 1} \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$ cuasi-varianza

$\chi^2_{exp} < \chi^2_{0,95;3} = 7,82.$

Por lo que se acepta la hipótesis nula de homogeneidad de varianzas

6.3.3.- Conclusiones particulares de la efectividad del empleo de determinadas variables visuales en la calidad temática de una carta geológica.

Se pudo observar con claridad que el buen uso de las variables visuales en la representación de las variables geológicas (litología, tectónica, hidrología, infraestructura, entre otras), es clave para la visualización de la información vertida en la carta geológica y la correcta lectura e interpretación de la misma.

De la investigación y el desarrollo del experimento estadístico se concluyó que en la diferenciación de clases litológicas en función de las variables visuales estudiadas, el tiempo de respuesta no es el mismo. En otras palabras existen algunas variables visuales más efectivas que otras.

En especial se observó la importancia del color, la textura o grado y la orientación. Si bien la tonalidad del color es algo importante, el uso del mismo parece ser menos

efectivo que la textura. Una variable que no fue analizada pero que de las observaciones hechas por los expertos, parece tener mucha efectividad, es el tamaño de la variable visual.

Las conclusiones obtenidas, de la estadística descriptiva, el modelo de diseño estadístico, y el ANAVA, son muy importantes al momento de diseñar una buena librería de simbología geológica. Se ha demostrado la efectividad de las variables visuales en interpretación correcta de la información geológica, y como consecuencia en la calidad temática de la carta.



(1) Santa Rosa de Calamuchita es una ciudad situada en el Departamento de Calamuchita, en la provincia Argentina de Córdoba, a 96 km de la capital provincial y a 24 km de la ciudad de Embalse (Córdoba), a través de la ruta provincial 5. Está ubicada en el corazón mismo del Valle de Calamuchita, rodeada de sierras, y goza de un clima mediterráneo.

(2) Depósitos Fluviales: En las fotografías aéreas es posible identificar distintos tipos de depósitos de origen fluvial y clasificarlos de acuerdo a su génesis. Resumiendo, encontramos los siguientes elementos de la morfología fluvial:

- Lecho mayor o lecho de inundación: es la zona plana de un valle que se inunda en época de crecidas.
- Lecho ordinario: es el cauce por el que discurre el río y que está delimitado perfectamente por ambas orillas.
- Canal de estiaje: es un pequeño canal al que queda reducido la corriente en algunos ríos en las épocas de sequía. Ocupa parte del lecho ordinario y suele divagar dentro de éste.
- Brazos de crecida: son cauces auxiliares del lecho ordinario, generalmente de diseño anastomosado, por los que corre el agua en épocas de crecida.
- Brazos muertos o Paleocauces: son restos del antiguo cauce del río o simplemente del canal de estiaje que quedaron abandonados al cambiar el río de curso.
- Meandros abandonados: se forman cuando el río en sus sucesivas divagaciones, buscando líneas de menos resistencia, excavando y depositando en sus respectivas orillas hasta que se produce un estrangulamiento y el río no entra ya en la curva; este meandro abandonado va evolucionando en el tiempo, primero formando lagunas "semilunares", y posteriormente, por crecientes sucesivas que afecten a toda la llanura aluvial, se producirá la colmatación y desaparición de esa laguna.
- Llanura aluvial: se produce cuando el lecho mayor del río adquiere proporciones considerables, ocupando todo un valle o si el río está en la llanura, sus desbordes se extienden por muchos kilómetros a ambas márgenes del mismo.
- Aluviones: son depósitos transportados y acumulados por el agua sobre los valles de los ríos. Se puede diferenciar el aluvión propiamente dicho, que en las fotos aparecen en general con tonalidades grises medias a oscuras y los depósitos de gravas, arenas, bloques, etc., que jalonan el río y que se encuentran dentro del lecho ordinario, con tonos grises claros.
- Terrazas aluviales: son restos del antiguo lecho de inundación del río, con bordes escarpados y pendientes suaves hacia el lecho del río. En general no son continuas y presentan tonos grises oscuros.
- Conos aluviales: son depósitos acumulados sobre llanuras zonas bajas en general, que se presentan allí donde cambia bruscamente el ángulo de la pendiente, al entrar los cauces de montaña en el valle. Presentan una morfología cónica, con el ápice dirigido hacia la montaña y la base desarrollada en el valle; presentan un diseño de drenaje "dicotómico", caracterizado por la formación de cauces distributarios.
- Coluviones: son depósitos recientes formados en las laderas de las montañas a expensas de los materiales arrancados a las mismas por erosión, y transportados en un corto trecho principalmente por gravedad, actuando el agua solo como lubricante y no como medio de transporte.

(3) Semilogie Graphique - Semiología Gráfica (Semiología del griego seemion = signo y logo = tratado)

Variables visuales según Jacques Bertin (Fuente: Bartaburu, S.G. *La Carta Topográfica*, 1994)

Implantación	Puntual	Lineal	Zonal
Forma	● ● ▲ ▲	— — — —	■ ■ ■ ■
Tamaño	● ● ● ●	— — — —	■ ■ ■ ■
Orientación	▲ ▲ ▲ ▲	— — — —	■ ■ ■ ■
Color	■ ■ ■ ■	— — — —	■ ■ ■ ■
Valor	■ ■ ■ ■	— — — —	■ ■ ■ ■
Grano	■ ■ ■ ■	— — — —	■ ■ ■ ■

según Jacques Bertin

CONCLUSIONES

- **Conclusiones generales**

La calidad, es un término que ha ido evolucionando a través de los años.

La pregunta es *¿cómo lograr productos de mejor calidad y al mismo tiempo satisfacer las necesidades de los usuarios?* Existen diferentes tipos de empresas, como por ejemplo las empresas manufactureras, en donde la respuesta puede no ser complicada, pero este nivel de complejidad se supera en la cartografía, por una razón muy simple, la calidad en una cartografía no depende exclusivamente de todos los cuidados que se pongan en cada uno de los procesos para su creación, sino más bien dependerá de la capacidad que tenga para ser útil al usuario, por lo tanto estandarizar la cartografía es una tarea bastante compleja puesto que existen una infinidad de variables involucradas en esta, dependiendo de su uso.

En cuanto a las normas del ISO TC/211 es de suponer, que cada día irán tomando mucha más fuerza dentro de la producción cartográfica puesto que en un futuro próximo todos los usuarios de cartografía exigirán conocer qué tipo de productos están utilizando y si concuerdan o no que el uso que pretenden darle. Estas normas van mucho más allá de lo presentado en este trabajo existen muchas otras y cada año se van actualizando y cada vez más países comienzan a generar sus propias adaptaciones.

Como se ha podido conocer, el grado de aplicación de las normas es bastante desigual. En general, las que son base de la interoperabilidad entre paquetes informáticos tienen un alto grado de aplicación, si bien esto está en manos de unos pocos, los productores de software.

Las causas pueden ser muy variadas, pero considero que la más importante es la falta de recursos humanos capacitados para aplicarlas. Se trata de un problema de formación. Existen pocas referencias bibliográficas y oferta formativa en estas materias. Este problema está afectando al éxito de la normalización, y con ello está limitando el beneficio que conlleva la normalización cuando se aplica masivamente.

El inconveniente de la desactualización de las cartas topográficas se ve frecuentemente agravado por la rapidez de los cambios debidos al desarrollo de algunas regiones, en contraposición con la lentitud de los procedimientos de actualización tradicionales basados en el uso de fotografías aéreas. Por lo tanto, resulta interesante pensar en métodos de trabajo que permitan disminuir el tiempo necesario para generar una carta actualizada, sin perjudicar su precisión geométrica.

El desarrollo de nuevos instrumentos de precisión para la generación de imágenes de alta resolución, viene permitiendo que la fotogrametría utilice nuevas tecnologías,

capaces de proporcionar un avance en la calidad de las cartas topográficas elaboradas, como así también en la actualización de las mismas.

En general podemos decir que: las imágenes de satélites y junto a ellas los diferentes software para el procesamiento digital de imágenes, son herramientas útiles y necesarias en los procesos de descifrado y clasificación de imágenes para la elaboración y actualización de las cartas topográficas.

La teledetección es una disciplina relativamente joven, que abarca un amplio rango de especialidades y cruza las fronteras de las tradicionales disciplinas científicas y tecnológicas.

En la elaboración de cartas geológicas, cartas temáticas en general donde se desee volcar grandes fenómenos regionales, la teledetección es una técnica sumamente útil para el reconocimiento de tipos de rocas, localización de fallas geológicas, obtención de datos altimétricos referidos a sistemas de referencia, determinación de la figura de la tierra, clasificación de usos del suelo, planificación territorial, meteorología, agricultura, hidrología y muchas otras aplicaciones.

Ahora bien, si el objetivo final es confeccionar cartografía topográfica a escala grande, con fines específicos, tendríamos que hacer una severa reflexión acerca de la comparación de los nuevos métodos propiciados por los sensores VHR. El precio de estas imágenes, unido a problemas de adquisición tales como idoneidad de la fecha de la toma, cobertura nubosa, ángulo de inclinación solar, etc., a las que se suma el costo del control terrestre y la necesidad de un modelo digital de elevación de precisión adecuada, nos invita a estudiar minuciosamente los objetivos y expectativas de su utilización para fines cartográficos.

Numerosos trabajos indican que por la exactitud geométrica de estas imágenes no se deberían emplear para la elaboración de cartas topográficas a escalas mayores a 1:10.000, ya que no garantizan los parámetros de precisión de las mismas, los cuales están establecidos en las normativas técnicas y en los patrones internacionales de certificación de calidad para escalas mayores.

Las imágenes satelitales tienen limitaciones en cuanto a resolución espacial y a precisión geométrica para la creación de cartas topográficas a grandes escalas, pero resultan una solución intermedia para la creación de cartografía con fines específicos que no requiera una alta precisión y para la actualización de las cartas topográficas a diferentes escalas incluyendo las grandes empleando transformaciones precisas como la ortorectificación.

Al tomar la determinación de utilizar una imagen satelital para elaborar cartografía, habrá que tener en cuenta entre otras cosas: la elección de uno de los muchos tipos de sensores, una de las decisiones más importantes ya que condiciona casi todo el trabajo

posterior aunque en muchas ocasiones, es una elección sencilla, ya que existen aplicaciones bien documentadas en las que cada tipo de sensor ofrece el máximo rendimiento. Otro factor de importancia que también hay que tomar en consideración cuando buscamos una imagen, es la relación que existe entre el tamaño de la escena y la resolución espacial. Una gran resolución espacial digamos un metro, se corresponde con un área de cobertura pequeña (y archivos digitales de gran tamaño). Al escoger una imagen, se deben equilibrar estas dos características de forma que la resolución espacial sea lo bastante alta como para distinguir los objetos que se necesita identificar. No obstante, el tamaño de la escena ha de ser lo suficientemente ancho como para colocar en ello dichos objetos en su perspectiva adecuada.

Entonces, *¿qué ventajas tiene el utilizar imágenes de satélites cuando existen muchas otras fuentes, de datos geográficos, tales como fotografías aéreas, estudios sobre el terreno y cartas sobre papel?* Para la mayoría de las aplicaciones, la respuesta más sencilla es que las imágenes de satélite son más rápidas, mejores y cada vez más baratas. La imagen del satélite es con frecuencia el medio más práctico para adquirir información geográfica aprovechable.

En cuanto a la precisión planimétrica y altimétrica de una carta topográfica, la misma, está relacionada con la posibilidad de realizar mediciones sobre ella. Estas mediciones se relacionan con la exactitud con que puntos aislados y bien identificables han sido trasladados al dibujo con relación a la cuadrícula de referencia y con la exactitud relativa entre las representaciones de un detalle respecto a otro.

La precisión cartográfica, es el grado de conformidad con que se representan las posiciones horizontales y verticales de los objetos en relación a la posición verdadera de los mismos sobre el terreno.

Es la componente más tradicional de los estudios de calidad cartográfica y por todo lo estudiado y analizado, se puede decir que la determinación de la precisión gráfica es una variable básica en el control de calidad de una carta topográfica. Desde el punto vista estadístico, se la determina en función del grado de confianza (tolerancia gráfica), con el que se quiere obtener los puntos del producto final.

Existe un número considerable de bibliografía donde se profundizan diferentes test estadísticos de control posicional de mapas topográficos, referidos al terreno y que son el fundamento de las bases cartográficas. Independientemente del test que se aplique, dada la importancia de este aspecto los métodos son siempre de carácter estadístico, ya que los mismos, son los únicos que permiten establecer niveles de confianza. Para el desarrollo de estos métodos estadísticos se toma como premisa la normalidad de la distribución de los errores. Esta suposición es asumible en la práctica, no obstante, si existe duda, siempre se recomendable el estudio estadístico que corrobore o no dicho

supuesto. El proceso se basa en la comparación de los valores derivados del modelo con los del terreno, o con otra fuente de mayor exactitud.

Siempre es útil recordar que el control estadístico fue una de las primeras funciones identificadas en el ámbito de la calidad, con el objetivo básico de eliminar los productos defectuosos, debido a que la inspección ocular, por ejemplo, solo es capaz de detectar el 80% de los errores. La importancia de la estadística en el control de calidad es vital dado que se convierte en la herramienta básica para la toma de decisiones en el análisis de los datos, en el establecimiento de riesgos, hipótesis, etc.

Como se sabe, el principio fundamental que debe respetarse para conservar la claridad y calidad de una carta, es no sobrecargarla de información superflua, por lo que el proceso de generalización cartográfica es sumamente importante.

Cualquiera sea el objetivo o fin con que se elabore cualquier tipo de carta temática en la que se vuelquen mayoritariamente datos cualitativos, es relevante el adecuado uso de las variables visuales. Estas variables son un elemento clave de la legibilidad y capacidad de transmisión de información de la cartografía analógica y digital.

La actualización es también una variable importante, la carta puede mantenerse útil mediante revisiones de fotografías aéreas, satelitales, en tanto no surjan modificaciones demasiados importantes, y queden referencias abundantes y claras de la situación de partida.

De la misma manera que existen normas técnicas para clasificar las cartas según su exactitud posicional, para asignarlas a una categoría determinada, se podría elaborar categorías para la exactitud temática, basadas en el peso significativo de las distintas variables que se consideran importantes en la calidad temática de la misma.

- **Conclusiones particulares**

Como una primera conclusión, se puede decir, que en un análisis cuantitativo de la calidad de una carta topográfica, se debe analizar por separado la precisión planimétrica, de la altimétrica. Ambos valores deben ser tenidos en cuenta por separado.

El uso de la estadística, sobre todo en lo que se refiere a los métodos de Análisis Multivariado, constituye, de acuerdo a todo lo analizado, una herramienta por demás válida y confiable en el momento de analizar el producto final de la producción cartográfica, en este caso, la carta topográfica, y ponderar la calidad de información vertida en ella.

Frente a las nuevas posibilidades de la visualización de las variables el Análisis de la Varianza, así como el diseño de experimentos aleatorios, a efectos fijos, unifactoriales o cualquier otro tipo de diseño en el que se desee estudiar más de un factor sometido a

diferentes tratamientos o niveles de tratamientos, son técnicas muy adecuadas, para inferir y tomar decisiones.

La metodología propuesta para verificar la calidad de cartas topográficas a diferentes escalas, basada en la de evaluación simultánea de las distintas variables que la definen, la considero una técnica o procedimiento adecuado para dicha verificación. A través de la misma se puede identificar las variables que caracterizan la calidad de una carta y sintetizar en un número reducido de combinaciones lineales la mayor parte de la información contenida en los datos o variables originales.

En cuanto al trabajo desarrollado se cumplieron con todos los objetivos, puesto que con este estudio se puede conformar una base para implementar las normas de calidad mediante controles de calidad. Se dio a conocer el tema y su real importancia en la actualidad.

En cuanto a la hipótesis de trabajo se pudo comprobar, aunque que no se generó cartografía de calidad, pero el estudio si sirvió para determinar la calidad de la cartografía, que es la base fundamental para conocer los defectos y virtudes de un producto y como mejorarlo lo que implicaría después la necesidad de generar manuales que permitan no solo el control de la calidad sino más bien el aseguramiento de ella.

La gran pregunta es *¿se le está entregando al usuario la información necesaria para poder determinar si la cartografía le es útil o no?*, la respuesta por el momento parece ser no.

Por lo tanto la principal conclusión que se puede determinar de este estudio es que en Córdoba, y en general en Argentina queda un largo camino para la implementación entre otras cosas, de las normas ISO TC/211, que no es una tarea fácil ni rápida, pero sí muy necesaria para no quedarnos atrás en este tema, ya que existen varios países muy avanzados en la materia, incluso en varios países europeos, ya existen empresas particulares que están ofreciendo productos de calidad y que están implementando la normalización en la producción de sus cartografías.

Más que nunca se hace necesario hoy la adaptación de las mismas a nuestra propia idiosincrasia. La emisión de manuales normativos, técnicos para verificación de la calidad de los productos finales. Es necesario que los usuarios de cartografía, dispongan de toda la información de calidad de los productos emitidos, en forma clara y entendible para que puedan tomar de con seguridad, sus decisiones sobre el uso que le van a dar a la misma.

Para que todo esto sea posible es sumamente importante que el IGN-Argentina, asuma firmemente su rol como veedor, inspector, observador y fiscalizador de la cartografía emitida a lo largo y ancho de nuestro país.

BIBLIOGRAFIA

• Referencias y fuentes bibliográficas consultadas

- Alba-Fernandez, M.V. (2013). *Diseño de experimentos en Información Geográfica*. Experto Universitario en Gestión de la Calidad de la Información Geográfica (1ª Edición). Máster Universitario en Evaluación y Gestión de la Calidad de la Información Geográfica (1ª Edición). Universidad de Jaén, Jaén, España.
- Arias Suárez, I.; Pérez García, E. (2009). “Experimentación con imágenes satelitales de alta resolución geométrica para cartografía a grandes escalas”. En *Mapping Interactivo – Revista Internacional de Ciencias de la Tierra* – ISSN: 1131-9100, Núm. 132, pp. 64-68.
- Ariza López F., Saez Cuatrero A, (1999) “Desarrollo de los sistemas de calidad en la producción cartográfica”. En *Mapping Interactivo – Revista Internacional de Ciencias de la Tierra*, ISSN: 1131-9100, Nº. 51, pp. 26-34
- Ariza López, F.J.; Pinilla Ruiz (2000). “Las componentes de la calidad del dato geográfico”. En *Mapping Interactivo – Revista Internacional de Ciencias de la Tierra*, ISSN: 1131-9100, Núm. 61, pp. 12-30.
- Ariza F. J. (2002). *Calidad en la producción cartográfica*, Ed. RA-MA, España.
- Ariza López, F. J. (2006). “Factores determinantes de la calidad de los productos/servicios cartográficos”. En *Mapping Interactivo – Revista Internacional de Ciencias de la Tierra*, ISSN: 1131-9100, Núm.112, pp. 30-39.
- Ariza Lopez F., Atkinson Gordo A, (2006), “Informe al CT-148 de AENOR: Metodologías de Control Posicional: Visión General y Análisis Crítico”
- Atkinson Gordo, A.; García Balboa, J. L.; Ariza López, F. J. (2003). *Los diferentes test para el control posicional en cartografía*. Departamento de Expresión Gráfica, Universidad de Extremadura, España.
- Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Casanoves F., Di Rienzo J.A., Robledo C.W. (2000). *Estadística para las Ciencias Agropecuarias*, Ed. Triunfar S.A, Córdoba, Argentina.
- Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Casanoves F., Di Rienzo J.A., Robledo C.W. (2008). *InfoStat, versión 2008, Manual del Usuario*, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Bartaburu, S. G. (1994). *La carta topográfica*. Ed. JGS Computación Gráfica.
- Bisquerra Alzina-. (1989). *Introducción conceptual al análisis multivariable. Un enfoque informático con los paquetes SPSS-X, BMPD, LISREL y SPAD -*

- Promociones y Publicaciones Universitarias S.A. Volumen I y II - Barcelona-España.
- Candiani J.C. (2007) “Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina, Cartografía Geológica sistemática de la Región Centro. Ejemplos prácticos de su utilidad y realización”. En *EXPOSEGEMAR 2007*- Buenos Aires – Argentina.
- Castillo Villanueva, L.; Iturbe Posadas, A. (2006). “Calidad de bases de datos geográficos digitales”. En *Caos Conciencia - Revista de la División de Ciencias e Ingeniería*, ISSN 1870-1221, Vol. 1, pp. 41-49 -, Universidad de Quintana Roo, México.
- Corbelle Rico, E.; Gil Docampo, M.L.; Armesto González, J.; Rego Sanmartín, T. (2006). “La escala cartográfica de la imagen de satélite. Caso particular de las imágenes Ikonos y QuickBird” En *Revista de Teledetección* ISSN: 1133-0953 Num. 26: pp 18-24. Publicada por Asociación Española de Teledetección (AET).
- Crivisqui, E. M. (1993). *Análisis factorial de correspondencias: un instrumento de investigación en ciencias sociales* - Centro de Publicaciones de la Universidad Católica, “Nuestra Señora de la Asunción”, Paraguay.
- Cuadras, C.M, (1981). *Métodos de Análisis Multivariante*. Ed. Eunibar, Barcelona, España
- Cuartero, A., Felicísimo, A. M. (2003). “Rectificación y ortorectificación de imágenes de satélite: análisis comparativo y discusión”, En *GeoFocus- Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, ISSN 1578-5157, Núm. 3, pp.45-57, Publicada por: Grupo de Tecnologías de la Información Geográfica, Asociación de Geógrafos Españoles.
- Del Río Marceau, A. (2009). “Normas ISO para la determinación de la Calidad de la información geográfica digital”. En *Mapping Interactivo –Revista Internacional de Ciencias de la Tierra*, ISSN: 1131-9100, Núm. 131, pp. 87-90.
- Díaz Centeno J. (2003). “Motivos y estado actual de la normalización de la información geográfica y cartografía”. En *Biblio 3W - Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, ISSN: 1138-9796, Vol. VIII, Núm. 467, Universidad de Barcelona, España.
- García García, F. J.; Rodríguez Pascual A. F. (2008). “Normalización de la información geográfica”. En *Mapping Interactivo- Revista Internacional de Ciencias de la Tierra*, ISSN: 1131-9100, Núm. 123, pp. 12-18.
- Honorable Cámara de Diputados de la Nación. (1993). Ley 24.224- REORDENAMIENTO MINERO <http://www1.hcdn.gov.ar>

- Instituto Geográfico Militar (1979). *100 Años en el quehacer cartográfico del país*, Buenos Aires, Argentina.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2005). *Guía para la interpretación de cartografía geológica* – México.
- Instituto Panamericano de Geografía e Historia. - Organismo Especializado de la Organización de Estados Americanos (O. E. A.), Instituto Geográfico Militar (1976). *Cartografía temática símbolos y criterios normativos*, Publicación N° 362, Buenos Aires, Argentina.
- Instituto Panamericano de Geografía e Historia (2009). – Comité ISO/TC 211- Información Geográfica/Geomática- Grupo Consultivo de Desarrollo - *Guía de Normas – Edición en Español*, Publicación 541, México, D.F.
- Lucas Martínez, J.L.; Rodríguez Pascual, A. F., (2004). “La calidad de la información geográfica de productos vectoriales del IGN”. *En VII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía-TOPCAR 2004*, Madrid, España.
- Martín, J.A. (2009). “Desarrollo sostenible, ordenamiento territorial y su aplicación a la ciudad de La Calera - Capítulo XIII: Aplicación de la metodología general para la elaboración de un plan de ordenamiento territorial en la ciudad de La Calera” - Trabajo Final de Grado, Ingeniería en Agrimensura, pp. 190 -243, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Martín López, J. (1999). *Cartografía* - Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Topógrafos, Madrid, España.
- Martín López, J. (1997). *Cartografía temática* - Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Topográfica, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Ministerio de Educación- EDUCACION SUPERIOR – Resolución 1054/202 Anexo V-1 “Actividades profesionales reservadas al título de Ingeniero Agrimensor” <http://www.me.gov.ar/>
- Ministerio de Defensa, Instituto Geográfico Nacional (2010). – *Manual de Signos Cartográficos*, Buenos Aires, Argentina.
- Miro Govedarica; Mirko Borisov, (2011). “The Analysis of Data Quality on Topographic Maps”. In *Geodetski Vestnik* 55/ 4, pp. 713-721, Eslovenia.
- Mozas Calvache, A. T.; Ariza López, F. J. (2008). “Principales métodos de control posicional por elementos lineales”. En *GeoFocus- Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, ISSN 1578-5157, Núm. 8, pp.187-204, Publicada por: Grupo de Tecnologías de la Información Geográfica, Asociación de Geógrafos Españoles.

- Paiva Aldo Raúl. – *Introducción a la Cartografía Temática*, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina
- Pina, A.I (2002). *Teoría de Errores y Cálculo de Compensación*, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Pina, A.I (2004). “Calidad de una carta topográfica. Una aproximación estadística”- Tesis de Maestría, Magister en Estadística Aplicada, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Pina, A., (2013). “Marco ISO 19100”. Trabajo Práctico. En Experto en Gestión de la Calidad de la Información Geográfica, Universidad de Jaén, Jaén, España.
- Pla, L.E. (1986) *Análisis Multivariado: Método de componentes principales*, 89 p., Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Washington, D.C.
- Presidência da República Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos: Decreto 89.817 (1984). *Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional*, Brasil. <http://www2.camara.leg.br/>
- Quintana Salvat, F.; Serra, W. (2010). *Fotointerpretación aplicada al reconocimiento del terreno* – Diplomatura en Tecnologías y Métodos para la Gestión del Territorio, - Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Quintana Salvat F. ; Ceballos G., (2006) - *Estudio fotogeofísico de factibilidad para alumbramiento de aguas subterráneas, en el ejido urbano y periurbano de Santa Rosa de Calamuchita*, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Quintino Dalmolin; Elvilázio da Mota Leal, (2001). “Análise da Qualidade Posicional em Bases Cartográficas Geradas em CAD”. En *Boletim de Ciências Geodésicas*, ISSN/EISSN: 14134853/19822170, Vol. 7, Num. 1, pp. 21- 40, Universidade Federal do Paraná, Brasil.
- Robinson, Arthur H.; Sale, Randall D.; Morrison, Joel L.; Muehrcke, Phillip C. (1987). *Elementos de cartografía* - Ed. Omega S.A. Barcelona, España.
- Sánchez Martín, N; Pérez Gutiérrez, C. (2008) - *Control geométrico de imágenes QuickBird para fines cartográficos* - Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales, Universidad Nacional de Salamanca, España
- Sevilla de Lerma, M. J. (1999). “Criterios de precisión cartográfica”. En *CT Catastro* - Publicación del Ministerio de Fomento- Gobierno de España, ISSN: 1138-3488, Vol. 8, Núm. 8. , pp. 12-20.

Universidad Nacional del Litoral, Servicio de Catastro e Información Territorial
Provincia de Santa Fe (2004). *Norma Cartográfica para la Provincia de Santa Fe*,
Santa Fe, Argentina

Vazquez Maure, F; Martin López, J (1995). *Lectura de mapas* - Escuela Universitaria
de Ingeniería Técnica Topográfica, Universidad Politécnica de Madrid, España

- **Software para tratamiento estadístico de datos**

InfoStat - Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M.,
Robledo C.W. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias
Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
<http://www.infostat.com.ar>

- **Software para la elaboración de cartas topográficas**

AutoCad versión 2010 – Laboratorio de Agrimensura Digital - Departamento de
Agrimensura – Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - Universidad
Nacional de Córdoba, Argentina.

- **Software para procesamiento de imágenes**

ENVI 4.0 – Maestría en Procesamiento de Imágenes- Facultad de Matemática,
Astronomía y Física – Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

1.-Estadística: Tests aplicados para el control estadístico de la precisión de un mapa en el presente trabajo.

1.1.- Test de Shapiro–Wilk

Se usa para contrastar la normalidad de un conjunto de datos. Se plantea como hipótesis nula que una muestra x_1, \dots, x_n proviene de una población normalmente distribuida. Fue publicado en 1965 por Samuel Shapiro y Martin Wilk. Se considera uno de los test más potentes para el contraste de normalidad, sobre todo para muestras pequeñas ($n < 30$).

El estadístico del test es:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde

$x_{(i)}$ (con el subíndice i entre paréntesis) es el número que ocupa la i -ésima posición en la muestra;

$$\bar{x} = \frac{(x_1 + x_2 + \dots + x_n)}{n} \quad \text{es la media muestral;}$$

las variables a_i se calculan $(a_1, a_2, \dots, a_n) = \frac{m^T V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1} m)^{1/2}}$

donde $m = (m_1, m_2, \dots, m_n)^T$

m_1, \dots, m_n son los valores medios del estadístico ordenado, de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas, muestreadas de distribuciones normales. V es la matriz de covarianzas de ese estadístico de orden.

La hipótesis nula se rechazará si W es demasiado pequeño.

Siendo la hipótesis nula que la población está distribuida normalmente, si el p-valor es menor a α (nivel de confianza) entonces la hipótesis nula es rechazada (se concluye que los datos no vienen de una distribución normal). Si el p-valor es mayor a α , no se rechaza la hipótesis y se concluye que los datos siguen una distribución normal.

1.2.- Test de la media de una población normal

En general los test de la media se aplican para averiguar si la media muestral obtenida a partir de una serie de observaciones, que se sabe provienen de una población normal, es compatible con la media poblacional supuesta; de esta forma podrá estudiarse la presencia de posibles sistematismos (valores constantes de desplazamiento en igual sentido). Consideraremos series de observaciones en las

que todas las medidas sean de igual confianza o equiprobables y distinguiremos dos casos según que la varianza poblacional sea conocida o desconocida.

Primer caso: Varianza poblacional σ^2 conocida.

Consideremos una serie de n observaciones, l_1, l_2, \dots, l_n estadísticamente independientes, tales que todas ellas sean normales

$$l_i \approx N(\mu, \sigma^2)$$

es decir, suponemos que provienen de una población normal de media μ e igual varianza conocida. La hipótesis nula de este test de la media puede enunciarse como sigue

$$H_0: \mu = \mu_0$$

donde μ_0 es un valor fijo de la media. La hipótesis alternativa es

$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

Sea

$$\bar{l} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i$$

la media muestral que sabemos se distribuye según una ley normal de media μ y varianza σ^2/n

$$\bar{l} \approx N(\mu, \sigma^2/n)$$

y definamos la media tipificada o normalizada

$$\bar{l}^* = \frac{\bar{l} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$$

que sabemos se distribuye normalmente con media 0 y varianza 1,

$$\bar{l}^* \approx N(0,1)$$

En estas condiciones, para contrastar el valor μ_0 , es decir para averiguar si estadísticamente $\bar{l} = \mu_0$, con los valores de la muestra \bar{l} y de la hipótesis nula $H_0(\mu_0)$, definimos el estadístico

$$\bar{y} = \frac{\bar{l} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}} = (\bar{l} - \mu_0) \frac{\sqrt{n}}{\sigma}$$

Este estadístico debería distribuirse como $N(0,1)$. Entonces, fijado un nivel de significación α , se rechaza la hipótesis nula H_0 si

$$|\bar{y}| > \lambda_{\alpha/2}$$

donde $\lambda_{\alpha/2}$ viene dado por la ley normal, es decir,

$$\phi_N = \int_{-\infty}^{\lambda_{\alpha/2}} N(0,1) d\lambda = 1 - \frac{\alpha}{2}$$

en la práctica este valor suele tomarse de las tablas habituales.

Intervalo de confianza: Con el valor de $\lambda_{\alpha/2}$ podemos definir el intervalo de confianza para μ escribiendo la probabilidad

$$P\left(-\lambda_{\alpha/2} < (\bar{l} - \mu) \frac{\sqrt{n}}{\sigma} < \lambda_{\alpha/2}\right) = 1 - \alpha = 2\phi_N - 1$$

por la simetría de la función densidad de probabilidad $N(0,1)$.

Entonces,

$$P\left(-\lambda_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < (\bar{l} - \mu) < \lambda_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha$$

$$P\left(-\lambda_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} - \bar{l} < -\mu < \lambda_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} - \bar{l}\right) = 1 - \alpha$$

en definitiva

$$P\left(\bar{l} - \lambda_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{l} + \lambda_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha$$

y queda establecido el intervalo de confianza al $(1 - \alpha) \times 100\%$,

$$\left(\bar{l} - \lambda_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{l} + \lambda_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$$

La tabla de la distribución normal nos da los valores ordinariamente utilizados siguientes

Tabla 1: valores de distribución normal habitualmente utilizados

$\lambda_{\alpha/2}$	$1 - \alpha$	$1 - \alpha/2$
1.96	0.950	0.9750
2.57	0.990	0.9949
3.29	0.999	0.9995

Segundo caso: Varianza poblacional σ^2 desconocida.

Supongamos ahora la misma serie de observaciones l_1, l_2, \dots, l_n pero con la varianza σ^2 desconocida \bar{l} sigue siendo la media muestral y sea

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l})^2$$

la varianza muestral. Como en el caso anterior se tiene

$$\bar{l} = N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right)$$

$$\bar{l} = N(0,1)$$

pero el estadístico \bar{y} no puede calcularse al desconocerse σ .

Definimos el nuevo estadístico

$$\bar{Y} = \frac{\bar{l} - \mu_0}{S/\sqrt{n}}$$

este estadístico se distribuye como una t de Student con $n-1$ grados de libertad, esto es

$$\bar{Y} \approx t_{n-1}$$

En efecto, sabemos que \bar{l} se distribuye según la ley normal tipificada, pero no nos sirve por figurar σ , que es desconocida, en su expresión. La teoría de distribuciones estadísticas muestra que el estadístico definido por

$$q = (n-1) \frac{S^2}{\sigma^2}$$

se distribuye según una chi cuadrado con $n-1$ grados de libertad, entonces el cociente

$$\frac{\bar{l}^*}{\sqrt{q}(n-1)} = \frac{\bar{l} - \mu}{S} \sqrt{n} \approx t_{n-1}$$

que es el nuevo estadístico T , se distribuye como se indica, por definición de la distribución t de Student.

La hipótesis nula en este caso sigue siendo $H_0: \mu = \mu_0$, y la hipótesis alternativa $H_1: \mu \neq \mu_0$

Se calcula T con los valores muestrales (\bar{l}, s^2) y con el parámetro de la hipótesis $H_0(\mu_0)$ y resulta.

$$\bar{Y} = \frac{\bar{l} - \mu_0}{S} \sqrt{n}$$

y fijado un nivel de significación α se rechaza la hipótesis nula H_0 si

$$|\bar{Y}| > t_{n-1, \alpha/2}$$

$$\phi_t = \int_{-\infty}^{t_{n-1, \alpha/2}} t_{n-1} dt = 1 - \frac{\alpha}{2}$$

Intervalo de confianza: Con el valor $t_{n-1, \alpha/2}$ podemos definir la probabilidad

$$P\left(-t_{n-1, \alpha/2} < \frac{\bar{l} - \mu}{S} < t_{n-1, \alpha/2}\right) = 1 - \alpha = 2\phi_t - 1$$

pues t_{n-1} es simétrica. Entonces

$$P\left(\bar{l} - t_{n-1, \alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{l} + t_{n-1, \alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha$$

y queda establecido el intervalo de confianza al $(1 - \alpha) \times 100$ % siguiente

$$\left(\bar{l} - t_{n-1, \alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}, \bar{l} + t_{n-1, \alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}\right)$$

Los valores de $t_{n-1, \alpha/2}$ se obtienen de las tablas de la t de Student.

Si estos test sobre la media rechazan, en cada caso, la hipótesis nula puede pensarse en que la serie de observaciones no sigue la ley normal, en que \bar{l} y μ_0 sean incompatibles, en que existan errores constantes o sistemáticos en las observaciones o en que dichas observaciones sean estadísticamente dependientes. Habrá que revisar cuidadosamente las observaciones y en último extremo repetir todo el proceso de medida.

1.3.- Test de la varianza de una población normal

Los test de la varianza se aplican para averiguar si la varianza muestral S_2 obtenida a partir de una serie de observaciones, que se sabe provienen de una población normal, es compatible con la varianza poblacional supuesta σ_0^2 , de esta manera podrá saberse si la serie de observaciones ha sido efectuada con la precisión global requerida para que los resultados finales tengan las garantías previstas. Estudiaremos series de igual confianza para todas las observaciones y, como antes, distinguiremos dos casos según que la media μ sea conocida o desconocida.

Primer caso: Media poblacional μ conocida.

Consideremos una serie de n observaciones, l_1, l_2, \dots, l_n estadísticamente independientes, tales que todas ellas sean normales

$$l_i \approx N(\mu, \sigma^2)$$

es decir, suponemos que provienen de una población normal de media μ e igual varianza σ^2 . La hipótesis nula de este test de la media puede enunciarse como sigue

$$H_0: \sigma^2 = \sigma_0^2$$

donde μ_0 es un valor fijo de la media. La hipótesis alternativa es

$$H_1: \sigma^2 \neq \sigma_0^2$$

Sea

$$S_\mu^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (l_i - \mu)^2$$

la varianza muestral teórica calculada con la media μ conocida. En estadística se demuestra que la relación

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{l_i - \mu}{\sigma} \right)^2 = \frac{nS_\mu^2}{\sigma^2} = \chi_n^2$$

se distribuye según una ley chi cuadrado con n grados de libertad.

Entonces, para contrastar el valor σ_0^2 , es decir para averiguar si estadísticamente $\sigma_0^2 = S_\mu^2$, con los valores de la muestra (S_μ^2) y de la hipótesis nula $H_0(\sigma_0^2)$, definimos el estadístico

$$c = \sum_{i=1}^n \left(\frac{l_i - \mu}{\sigma} \right)^2 = \frac{nS_\mu^2}{\sigma^2}$$

Este estadístico debería distribuirse como una χ_n^2 . Entonces, fijado un nivel de significación α , se rechaza la hipótesis nula H_0 si

$$c < \chi_{n-1, \alpha/2}^2 \quad \text{o} \quad c > \chi_{n, \alpha/2}^2$$

donde

$$\int_0^{\chi_{n-1, \alpha/2}^2} \chi_n^2(x) dx = \frac{\alpha}{2} \quad \text{y} \quad \int_0^{\chi_{n, \alpha/2}^2} \chi_n^2(x) dx = 1 - \frac{\alpha}{2}$$

en la práctica estos valores suelen tomarse de las tablas habituales. Obsérvese que esta función densidad no es simétrica.

Intervalo de confianza: Con los valores $\chi_{n-1, \alpha/2}^2$ y $\chi_{n, \alpha/2}^2$ podemos definir la probabilidad de χ_n^2

$$P\left(\chi_{n-1, \alpha/2}^2 < \frac{nS_\mu^2}{\sigma^2} < \chi_{n, \alpha/2}^2\right) = 1 - \alpha$$

entonces,

$$P\left(\chi_{n-1, \alpha/2}^2 \frac{1}{nS_\mu^2} < \frac{1}{\sigma^2} < \chi_{n, \alpha/2}^2 \frac{1}{nS_\mu^2}\right) = 1 - \alpha$$

$$P\left(\frac{nS_\mu^2}{\chi_{n-1, \alpha/2}^2} > \sigma^2 > \frac{nS_\mu^2}{\chi_{n, \alpha/2}^2}\right) = 1 - \alpha$$

y queda establecido el intervalo de confianza al $(1 - \alpha) \times 100\%$

$$\left(\frac{nS_\mu^2}{\chi_{n, \alpha/2}^2}, \frac{nS_\mu^2}{\chi_{n-1, \alpha/2}^2} \right)$$

Segundo caso: Media poblacional μ desconocida.

Supongamos ahora la misma serie de observaciones l_1, l_2, \dots, l_n con la misma media μ desconocida. Entonces sustituimos la varianza por la varianza muestral S^2 calculada con la media muestral \bar{l}

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l})^2$$

En este caso interesa utilizar el estadístico q antes definido.

La hipótesis nula en este caso sigue siendo $H_0: \sigma^2 = \sigma_0^2$ y la hipótesis alternativa $H_1: \sigma^2 \neq \sigma_0^2$. Se calcula q con los valores muestrales (\bar{l}, S^2) y con el parámetro de la hipótesis $H_0(\sigma_0^2)$ y resulta

$$C = (n - 1) \frac{S^2}{\sigma_0^2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{l_i - \bar{l}}{\sigma_0} \right)^2$$

que debería distribuirse como una chi cuadrado con $n - 1$ grados de libertad (obsérvese que se ha perdido un grado de libertad al utilizar S^2). Entonces, fijado un nivel de significación α se rechaza la hipótesis nula H_0 si

$$C < \chi_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}}^2 \quad \text{o} \quad C > \chi_{n-1, \frac{\alpha}{2}}^2$$

Estos valores se obtienen de las tablas de la función χ_n^2 , es decir, son tales que

$$\int_0^{\chi_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}}^2} \chi_{n-1}^2(x) dx = \frac{\alpha}{2} \quad \text{y} \quad \int_0^{\chi_{n-1, \frac{\alpha}{2}}^2} \chi_{n-1}^2(x) dx = 1 - \frac{\alpha}{2}$$

Intervalo de confianza: De forma análoga al caso anterior, se obtiene el intervalo de confianza al $(1 - \alpha) \times 100$ % siguiente

$$\left(\frac{(n-1)S^2}{\chi_{n-1, \frac{\alpha}{2}}^2}, \frac{(n-1)S^2}{\chi_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}}^2} \right)$$

Si estos test sobre la varianza rechazan, en cada caso, la hipótesis nula puede pensarse en que la serie de observaciones no sigue la ley normal, en que S^2 y σ^2 sean incompatibles, o en que dichas observaciones sean estadísticamente dependientes. Habrá que revisar cuidadosamente las observaciones y en último extremo repetir todo el proceso de medida.

2.- Análisis multivariado.

2.1.- Conceptos generales

“...El análisis multivariado es la rama de la estadística y del análisis de datos que estudia, interpreta y elabora el material estadístico sobre la base de un conjunto de $n > 1$ variables, que pueden ser de tipo cuantitativo, cualitativo o una mezcla de ambos...” (Cuadras⁴⁴, 1981).

“...La medición de varias características de una misma unidad experimental, ya sea en forma simultánea o con ciertos intervalos de tiempos, genera una serie de datos que deben ser analizados con técnicas multivariadas...” (Pla⁴⁵ L., 1987).

⁴⁴ Cuadras, C.M, (1981). *Métodos de Análisis Multivariante*. Ed. Eunibar, Barcelona, España

⁴⁵ Pla L., (1987) “*Análisis Multivariado: Método de componentes principales*”, 89 p., Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico.

Los datos multivariados ofrecen la posibilidad de ser expresados en combinaciones lineales de las variables originales. Esta es quizás la herramienta más poderosa para realizar este tipo de análisis estadístico, el cual no es factible en el campo univariado. En un número reducido de combinaciones es posible sintetizar la mayor parte de la información contenida en los datos originales.

2.2.-Clasificación de los métodos multivariados

Diversos autores han propuesto una clasificación de los métodos multivariados. Dada la diversidad de clasificaciones, resulta difícil optar por una de ellas.

Una distinción está en: R. Bisqueira Alzina⁴⁶, 1989

- **Métodos descriptivos o exploratorios:** en ellos el investigador se aproxima a los datos sin ninguna hipótesis previa, se observa la realidad y se exploran los datos en busca de nuevos conocimientos. Dentro de este grupo se incluyen, el análisis factorial exploratorio, el análisis por conglomerados, el análisis de correspondencia y las escalas multidimensionales.
- **Métodos explicativos o confirmatorios:** los mismos se basan en un marco teórico que justifica y fundamenta una hipótesis que se intenta validar empíricamente. Entre estos métodos se encuentran el análisis multivariado de la varianza (MANOVA), la regresión múltiple, los métodos log-lineales y el análisis casual.

Otra clasificación está dada por: Pla⁴⁷ L, 1987

- **Métodos para detectar la interdependencia entre variables y entre individuos:** dentro de los mismos se incluyen el análisis de factores, el análisis por conglomerados, el análisis de correlación canónica, el análisis por componentes principales, el análisis de ordenamiento multidimensional, y algunos métodos no paramétricos.
- **Métodos para detectar dependencia:** comprenden el análisis de regresión multivariado, el análisis de contingencia múltiple y el análisis de discriminante.

⁴⁶ Bisqueira Alzina-. (1989). *Introducción conceptual al análisis multivariable. Un enfoque informático con los paquetes SPSS-X, BMPD, LISREL y SPAD* - Promociones y Publicaciones Universitarias S.A. Volumen I y II – Barcelona, México.

⁴⁷ Pla L., (1987) “*Análisis Multivariado: Método de componentes principales*”, 89 p., Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico

2.3.- Matriz de datos

El punto de partida del análisis multivariado es una matriz de datos que contiene n individuos (1, 2, ..., n) con las observaciones de p variables (1, 2, ..., p)

Estas variables se representan por V_1, V_2, \dots, V_p . El Valor de la observación del individuo i en la variable j se representa por x_{ij} .

INDIVIDUOS	VARIABLES			
	V1	V2	Vi	Vp
1	X11	X12 X1i X1p
2	X21	X22 X2i X2p
.....
n	Xn1	Xn2 Xni Xnp

La matriz de datos tiene por lo tanto, tantas filas como individuos y tantas columnas como variables.

2.4.- Proximidades

En muchos métodos de análisis multivariado intervienen diversas medidas que pueden agruparse bajo el concepto genérico de proximidades.

La proximidad expresa la semejanza que existe entre individuos o variables, es el grado de asociación que existe entre ellos. Las proximidades pueden medir la distancia o similitud entre individuos o variables.

2.4.1.- Distancias

Matemáticamente se da el nombre de *distancia d* entre dos puntos AB, a toda medida que verifique los tres axiomas siguientes:

- 1- $d_{ij} \geq 0 \quad d_{ii} = 0$
- 2- $d_{ij} = d_{ji}$
- 3- $d_{ab} \leq d_{ac} + d_{cb}$

El valor que se obtiene en una medida de distancia es tanto mayor cuanto más alejados están los individuos o variables entre los que se mide.

2.4.2.- Similitudes

En las similitudes, al contrario de las distancias, el valor que se obtiene es tanto mayor cuanto más próximos están los elementos considerados.

2.4.3.- Principales medidas de proximidad

Medidas de proximidad para variables cuantitativas

Existen muchas medidas de proximidad. Simplemente enunciaremos las más se usan. Las más utilizadas son: la distancia Euclídea y la correlación de Pearson

Distancia Euclídea : $d_{xy} = \sqrt{(x_i - y_i)^2}$

Distancia Euclídea al cuadrado : $d_{xy}^2 = \sum (x_i - y_i)^2$

Correlación entre vectores de valores (similitud) : $r_{xy} = \frac{\sum z_x z_y}{n}$

Coseno de vectores de valores (similitud) : $\cos_{xy} = \frac{\sum z_i y_i}{\sqrt{\sum x_i^2 \sum y_i^2}}$

Medidas de proximidad para datos binarios

Son datos binarios, también llamados dicotómicos, aquellos que solo pueden presentar dos opciones, blanco-negro, verdadero-falso, etc. Informáticamente los datos binarios suelen tratarse como presencia-ausencia.

Al poner en relación dos variables binarias se forma una tabla de contingencia 2 x 2 que se puede esquematizar de la siguiente manera:

		Variable 1	
		Presencia	Ausencia
Variable 2	Presencia	a	b
	Ausencia	c	d

Existen diversas medidas de proximidad para datos binarios. Cada uno de ellos pone el énfasis en algún aspecto concreto de la relación. Todas ellas tienen una fórmula a partir de los valores a, b, c y d de una tabla de contingencia como la anterior. Estos valores son las frecuencias observadas en cada una de las cuatro casillas posibles. Existen muchas. Las principales son:

Russel y Rao: $RR_{xy} = \frac{a}{a + b + c + d}$

Parejas simples: $PS_{xy} = \frac{a + d}{a + b + c + d}$

Distancia Euclídea binaria: $EB_{xy} = \sqrt{b + c}$

1 Distancia Euclídea binaria al cuadrado: $EB_{xy}^2 = b + c$

2.4.4.- Distancia entre dos individuos

La distancia entre dos individuos es lo mismo que la distancia entre dos puntos en el espacio de v dimensiones. El cálculo de la distancia entre dos puntos, o dos individuos, viene dada por:

$$D_{ij}^2 = (\tilde{X}_i - \tilde{X}_j)^T \Sigma^{-1} (\tilde{X}_i - \tilde{X}_j)$$

donde los vectores de los individuos i y j , son representados respectivamente por \tilde{X}_i y \tilde{X}_j .

Principales Métodos de Análisis Multivariado empleados en el presente trabajo

2.5.- Análisis de conglomerados

El nombre de análisis de conglomerados se utiliza para definir una serie de técnicas, fundamentalmente algoritmos, que tienen por objeto la búsqueda de grupos similares de individuos o variables que se van agrupando en conglomerados. Dada una muestra de individuos de cada uno de los cuales se dispone de una serie de observaciones, el análisis de conglomerados sirve para clasificarlos en grupos lo más homogéneos posibles en base a las variables observadas. Los individuos que queden clasificados en el mismo grupo serán tan similares como sea posible.

Tanto el análisis de conglomerados como el análisis discriminante sirven para clasificar individuos en categorías. La diferencia principal entre ellos escriba en que en el análisis discriminante se conoce a priori el grupo de pertenencia, mientras que en el análisis de conglomerados sirve para ir formando grupos homogéneos de conglomerados.

El análisis de conglomerados se puede utilizar para agrupar individuos y también para agrupar variables.

2.6.- Análisis de correspondencia

El análisis factorial de correspondencias, conocido en forma abreviada como análisis de correspondencia es una técnica para el estudio de las relaciones de dependencia entre variables categóricas, presentadas en forma de tablas de contingencia. El análisis de correspondencia, además de analizar la relación existente entre las variables, permite analizar cómo está estructurada esta asociación, describiendo proximidades que permiten identificar categorías causa de asociación.

La generalización del método a más de dos variables, denominado análisis de correspondencia múltiple, lo hace especialmente útil en situaciones multivariadas categóricas.

Siendo el análisis de correspondencia una técnica factorial, sus resultados pueden ser presentados gráficamente sobre ejes de coordenadas, lo cual aporta una gran ayuda a la interpretación de los resultados.

La tabla de Burt, es una tabla de contingencia que pone en relación cada modalidad con todas las demás, es decir, presenta el conjunto de todas las tablas de contingencias que pueden ser construidas cruzando dos a dos todas las características observadas.

Las tablas Burt no son, en sentido estricto, tablas de contingencia. Se trata más bien de tablas que resultan de la superposición de tablas de contingencia. Sin embargo pueden ser analizadas como tales. La suma en fila (o en columna) es igual a $p \times n$, de modo que los individuos observados figuran en la tabla p^2 veces.

En la tabla de Burt, las filas y las columnas tienen papeles análogos. La información aportada por esta tabla resulta de la comparación de todas las modalidades que la constituyen.

Podemos definir un espacio euclidiano de representación de la información aportada por una tabla de Burt. Representamos los puntos-perfiles ponderados de las p dimensiones de la tabla en un referencial de p modalidades. Dotando ese espacio de la distancia Chi-Cuadrado entre modalidades.

Expresando esa distancia en términos de perfiles ponderados, la distancia Chi-Cuadrado entre dos fila i, i' de la tabla Burt queda definida de la siguiente manera:

$$d_{(i,i')} = \sqrt{\sum_{j=1}^j \frac{1}{f_j} \left(\frac{f_{ij}}{f_i} - \frac{f_{i'j}}{f_{i'}} \right)^2} \quad \forall i, i'$$

2.7.- Análisis de coordenadas principales

La técnica de reducción conocida como análisis de coordenadas principales es una forma de escalamiento multidimensional clásica. Dicha técnica explora las similitudes o distancias entre observaciones y permite mostrarlas en forma gráfica.

El objetivo de la misma es mostrar las relaciones observaciones representadas por distancias o similitudes, en un plano tal que las distancias verdaderas sean preservadas tanto como sea posible.

El análisis de coordenadas principales opera sobre la matriz de similitudes (distancias) doblemente entrada derivada de la matriz de similitud como sigue:

$C_{ij} = A_{ij} - \bar{A}_i - \bar{A}_j + A$. Se realiza una descomposición espectral de la matriz C y se obtiene la solución o coordenada principal haciendo $Z = ED^{1/2}$ si C representa $C = EDE^T$ la descomposición espectral de C .

Los autovalores de la descomposición espectral son los elementos diagonales de la matriz D , cada uno indica la variabilidad explicada en la dimensión dada por el autovector correspondiente de la matriz E .

4.8.- Análisis de procusto

El análisis de procusto, esencialmente, es un método para consensuar dos o más configuraciones.

Si se tiene una matriz $D(n \times n)$ de distancias o similitudes que relacionan n objetos, puede obtenerse, a partir de ella, dos o más configuraciones usando técnicas diferentes de escalamiento multidimensional, escalas métricas y no métricas. La cuestión está en cuán bien coinciden ambas configuraciones. Las mismas, pueden ser bastantes similares, pero una medida cuantitativa sería útil, para lograr una mejor comparación.

Una comparación numérica de dos configuraciones se puede obtenerse moviendo una configuración, ya sea por traslación, rotación moviendo una de las dos, y escalamiento, de manera de aproximarlas, según un criterio de optimización.

Supongamos que la matriz $X(n \times p)$ contiene las coordenadas de n puntos obtenidos usando la técnica 1 y la matriz del $Y(n \times q)$ contiene las coordenadas de los mismos puntos usando la técnica 2, donde $q < p$, si agregamos columnas de ceros a Y , podemos asumir que X y Y tienen la misma dimensión $(n \times p)$.

Matemáticamente, nosotros trasladamos por medio un vector b y multiplicamos por una matriz ortogonal Q para que las coordenadas del j^{th} de los puntos y_j se transformen en $Qy_j + b$. El vector b y matriz ortogonal Q son transformadores que minimizan la suma de las distancias al cuadrado, de todos los puntos.

$$d_j^2(x_j; Qy_j + b) = (x_j - Qy_j - b)^T (x_j - Qy_j - b)$$

Se toma, como una medida de ajuste o acuerdo, entre las dos configuraciones, la suma residual de cuadrados, que es igual a:

$$PR^2 = \min \sum_{j=1}^n (x_j - Qy_j - b)^T (x_j - Qy_j - b)$$

3.- Análisis de la varianza

El Análisis de la Varianza (ANAVA), permite probar hipótesis referidas a los parámetros de posición (esperanza) de dos o más distribuciones. La hipótesis que se somete a prueba generalmente se establece con respecto a las medias de las poblaciones en estudio o de cada uno de los tratamientos evaluados en un experimento:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_t$$

donde t = número de poblaciones o tratamientos.

El ANAVA es un procedimiento que descompone la variabilidad total en la muestra (suma de cuadrados total de las observaciones) en componentes (sumas de cuadrados) asociados cada uno a una fuente de variación reconocida.

En experimentos con fines comparativos, usualmente se realiza la aplicación de varios tratamientos a un conjunto de unidades experimentales para valorar y comparar las respuestas obtenidas bajo cada tratamiento. En este caso es deseable administrar eficientemente los recursos que permiten incrementar la precisión de las estimaciones de las respuestas promedio de tratamientos y las comparaciones entre ellas. Se entiende por *tratamientos* a la/s acciones que se aplican sobre las unidades experimentales y que son objeto de comparación. Los tratamientos pueden ser representados por los niveles de un factor o por la combinación de los niveles de dos o más factores (estructura factorial de tratamientos).

Uno de los principales objetivos en la planificación de una experiencia, siguiendo un diseño experimental, es la reducción del error o variabilidad entre unidades experimentales que reciben el mismo tratamiento, con el propósito de incrementar precisión y sensibilidad al momento de la inferencia, por ejemplo aquello relacionado a la comparación de efectos de tratamientos.

El diseño experimental es una estrategia de combinación de la estructura de tratamientos (factores de interés) con la estructura de unidades experimentales (parcelas, individuos, macetas, etc.), de manera tal que las alteraciones en las respuestas, al menos en algún subgrupo de unidades experimentales, puedan ser atribuidas solamente a la acción de los tratamientos excepto por variaciones aleatorias. Así, es posible contrastar (comparar) medias de tratamientos o combinaciones lineales de medias de tratamientos con el menor “ruido” posible.

3.1.- Análisis de la varianza para un modelo unifactorial de efectos fijos (empleado en el presente trabajo)

Se parte de un único factor de estudio con t niveles y un conjunto N de unidades experimentales asignadas aleatoriamente a dichos niveles y sobre los que se observa la variable respuesta. Cada muestra resultante se supone que se distribuye según una distribución normal $N(\mu, \sigma^2)$, es decir, la varianza es la misma en los t niveles, y difieren posiblemente en la media.

Bajo esta hipótesis, los N datos se pueden expresar como:

$$y_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij} \quad i=1, 2, \dots, t ; j=1, 2, \dots, n_i$$

y_{ij} = variable respuesta en la unidad experimental j a la que se le ha aplicado el tratamiento i

n_i =número de unidades experimentales a las que se les ha aplicado el tratamiento i

$$N = \sum_{i=1}^t n_i$$

μ_i = valor medio de la variable respuesta bajo el tratamiento i

ε_{ij} = error aleatorio ($\varepsilon_{ij} = y_{ij} - \mu_i$)

Hipótesis:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_t = 0$$

$$H_1 = \mu_i \neq \mu_j \quad i \neq j$$

O equivalentemente, dado que $t_i = \mu - \mu_i$ contrastando la igualdad de medias de la variable respuesta en cada nivel del factor de estudio,

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_t$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \quad i \neq j$$

Tabla de ANAVA para un diseño unifactorial y modelos de efectos fijos

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_{exp}
Tratamientos	SCTR	t-1	$CMTR = \frac{SCTR}{t-1}$	$\frac{CMTR}{CME}$
Error	SCE	N-4	$CME = \frac{SCE}{N-1}$	
Total	SCT	N-1		

$$SCT = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{N}$$

$$SCTR = \sum_{i=1}^t y_{i.}^2 - \frac{y_{..}^2}{N}$$

$$SCE = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2$$

$$SCT = SCTR + SCE$$

$$SCE = SCT - SCTR$$

Si la hipótesis nula fuera cierta, es decir, si las medias para cada nivel del factor son iguales entre sí, coincidirán a su vez con la media global y por lo tanto, SCTR será muy pequeño y por lo tanto, $SCT \approx SCE$. En caso contrario, puesto que SCTR mide esas diferencias, tenderá a ser tan grande como evidente sea la diferencia entre las medias de cada nivel y la media global; y por lo tanto SCTR se acercará a SCT.

Esta es la idea subyacente en el ANAVA, que medirá si SCTR es significativamente grande con respecto a SCE, apoyándose en que bajo hipótesis nula se tiene que:

$$\frac{SCT}{\sigma^2} \rightarrow \chi_{N-1}^2$$

$$\frac{SCTR}{\sigma^2} \rightarrow \chi_{t-1}^2$$

$$\frac{SCE}{\sigma^2} \rightarrow \chi_{N-t}^2$$

Siendo el estadístico de contraste bajo H_0

$$F = \frac{\frac{SCTR/\sigma^2}{t-1}}{\frac{SCE/\sigma^2}{N-t}}$$

Este estadístico se expresa en términos de los llamados cuadrado medio de los tratamientos y cuadrado medio del error siguientes:

$$CMTR = \frac{SCTR}{t-1}$$

$$CME = \frac{SCE}{N-t}$$

Así finalmente se calcula el estadístico F como $F_{exp} = \frac{CMTR}{CME}$ siendo su distribución teórica cuando la hipótesis nula es cierta,

H_0

$$F \rightarrow F_{t-1, N-t}$$

Si H_0 es cierta el valor experimental del estadístico F, F_{exp} debe ser muy pequeño por lo que se rechazará la hipótesis nula para valores grandes del estadístico, en concreto, para un nivel de significación o tamaño α , rechazamos H_0 si el valor experimental supera al percentil $1-\alpha$ de la F de Snedecor con $t-1$ y $N-t$ grados de libertad ($F_{1-\alpha; t-1, N-t}$) es decir, si

$$F_{exp} \geq F_{1-\alpha; t-1, N-t}$$

De manera totalmente equivalente, se rechazará H_0 al nivel α si el p-valor asociado $p = P[F_{t-1, N-t} > F_{exp}]$ es menor o igual que α , lo que supone que efectivamente hay algún nivel del factor para el cual la media de la variable respuesta difiere del resto de las medias.

Adicionalmente, se introduce el coeficiente de determinación como una medida de la variabilidad total explicada por el factor de interés, y su definición es:

$$R^2 = \frac{SCTR}{SCT}$$

Matrices de datos. Tablas. Gráficos

1.- Componente posicional

Coordenada X: Tabla de resultados obtenidos para la coordenada X ($\Delta X = X^m - X^t$)

N	ΔX (mm)	$(\Delta X)^2$	$\Delta X - \Delta \bar{X}$	$(\Delta X - \Delta \bar{X})^2$
1	0,523	0,2735	0,514	0,2638
2	-0,712	0,5069	-0,721	0,5202
3	0,880	0,7744	0,871	0,7581
4	-0,375	0,1406	-0,384	0,1476
5	0,461	0,2125	0,452	0,2040
6	0,397	0,1576	0,388	0,1503
7	0,533	0,2840	0,524	0,2742
8	0,355	0,1260	0,346	0,1195
9	-0,343	0,1176	-0,356	0,1241
10	-0,359	0,1288	-0,367	0,1356
11	-0,221	0,0488	-0,237	0,0530
12	0,513	0,2631	0,504	0,2537
13	-0,483	0,2332	-0,492	0,2423
14	-0,313	0,0979	-0,322	0,1038
15	0,285	0,0812	0,276	0,0760
16	-0,392	0,1536	-0,401	0,1610
17	-0,174	0,0302	-0,183	0,0335
18	0,495	0,2450	0,486	0,2359
19	-0,384	0,1474	-0,393	0,1546
20	-0,500	0,2500	-0,509	0,2593

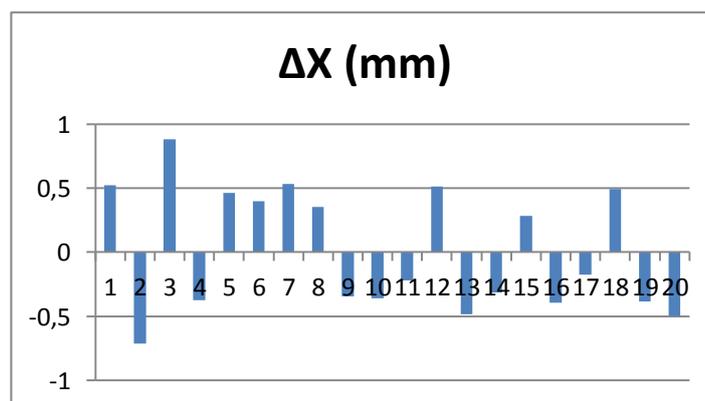


Gráfico de dispersión de las diferencias: $\Delta X = X^m - X^t$

Media de las discrepancias $\Delta\bar{X} = \frac{\Sigma\Delta X}{n} = 0,009 \text{ mm}$

Varianza respecto de una media cero $S_{\mu}^2 = \frac{\Sigma(\Delta X)^2}{n} = 0,214 \text{ mm}^2$

Desviación típica respecto de una media cero $S_{\mu} = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta X)^2}{n}} = \pm 0,462 \text{ mm}$

Varianza muestral (error medio cuadrático) $S^2 = \frac{\Sigma(\Delta X - \Delta\bar{X})^2}{n-1} = 0,225 \text{ mm}^2$

Desviación típica muestral (error medio) $S = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta X - \Delta\bar{X})^2}{n-1}} = \pm 0,474 \text{ mm}$

Aplicación de los test de hipótesis

Test de la media con varianza conocida ($\sigma_0 = 0,50$)

Valor del estadístico $y = \frac{(\bar{x} - \mu_0)\sqrt{n}}{\sigma_0} = 0,080$

Valor crítico $\lambda_{0,025} = 1,96$

Como $0,080 < 1,96$ la hipótesis nula es aceptada: no existen sistematismos.

Test de la media con varianza desconocida

Valor del estadístico $y = \frac{(\bar{x} - \mu_0)\sqrt{n}}{S} = 0,085$

Valor crítico $t_{19; 0,025} = 2,093$

Como $0,085 < 2,093$ la hipótesis nula es aceptada

Test de la varianza con media conocida ($\mu=0$)

Valor del estadístico $c = \frac{nS_{\mu}^2}{\sigma_0} = 8,56$

Valor crítico $\chi_{20; 0,05}^2 = 31,41$

Como $8,56 < 31,41$ la hipótesis nula es aceptada. Precisión correcta.

Test de la varianza con media desconocida

Valor del estadístico $c = \frac{(n-1)S^2}{\sigma_0/2} = 17,1$

Valor $\chi_{19; 0,05}^2 = 30,14$

Como $17,1 < 30,14$ la hipótesis nula es aceptada. Precisión correcta

Coordenada Y: Tabla de resultados obtenidos para la coordenada Y ($\Delta X = X^m - X^l$)

N	ΔY (mm)	$(\Delta Y)^2$	$\Delta Y - \Delta \bar{Y}$	$(\Delta Y - \Delta \bar{Y})^2$
1	0,521	0,2714	0,5123	0,26250
2	-0,753	0,5670	-0,7616	0,58011
3	0,856	0,7327	0,8473	0,71800
4	-0,332	0,1102	-0,3406	0,11604
5	0,568	0,3226	0,5593	0,31287
6	0,379	0,1436	0,3703	0,13715
7	0,541	0,2927	0,5323	0,28339
8	0,356	0,1267	0,3473	0,12065
9	-0,334	0,1116	-0,3426	0,11740
10	-0,351	0,1232	-0,3596	0,12934
11	-0,227	0,0515	-0,2356	0,05553
12	0,512	0,2621	0,5033	0,25336
13	-0,495	0,2450	-0,5036	0,25366
14	-0,323	0,1043	-0,3316	0,10999
15	0,276	0,0762	0,2673	0,07147
16	-0,390	0,1521	-0,3986	0,15892
17	-0,163	0,0266	-0,1716	0,02946
18	0,487	0,2372	0,4783	0,22881
19	-0,400	0,1600	-0,4086	0,16699
20	-0,555	0,3080	-0,5636	0,31770

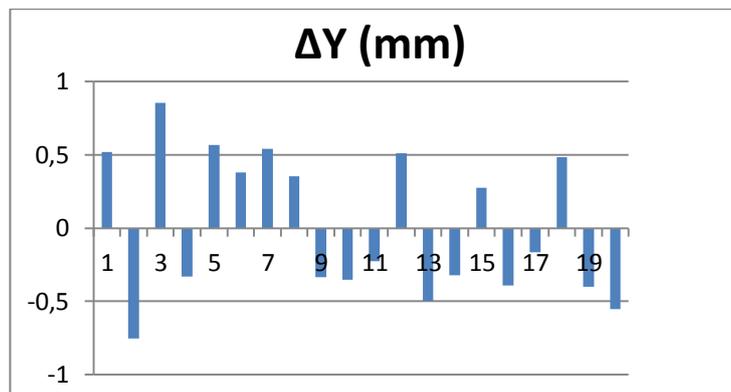


Gráfico de dispersión de las diferencias: ($\Delta Y = Y^m - Y^l$)

$$\text{Media de las discrepancias } \Delta\bar{Y} = \frac{\sum \Delta Y}{n} = 0,009 \text{ mm}$$

$$\text{Varianza respecto de una media cero } S_{\mu}^2 = \frac{\sum (\Delta Y)^2}{n} = 0,221 \text{ mm}^2$$

$$\text{Desviación típica respecto de una media cero } S_{\mu} = \sqrt{\frac{\sum (\Delta Y)^2}{n}} = 0,470 \text{ mm}$$

$$\text{Varianza muestral (error medio cuadrático) } S^2 = \frac{\sum (\Delta Y - \Delta\bar{Y})^2}{n-1} = 0,233 \text{ mm}^2$$

$$\text{Desviación típica muestral (error medio) } S = \sqrt{\frac{\sum (\Delta Y - \Delta\bar{Y})^2}{n-1}} = \pm 0,483 \text{ mm}$$

Aplicación de los test de hipótesis

Test de la media con varianza conocida ($\sigma_0 = 0,50$)

$$\text{Valor del estadístico } y = \frac{(\bar{y} - \mu_0)\sqrt{n}}{\sigma_0} = 0,080$$

$$\text{Valor crítico } \lambda_{0,025} = 1,96$$

Como $0,080 < 1,96$ la hipótesis nula es aceptada: no existen sistematismos.

Test de la media con varianza desconocida

$$\text{Valor del estadístico } y = \frac{(\bar{y} - \mu_0)\sqrt{n}}{s} = 0,083$$

$$\text{Valor crítico } t_{19; 0,025} = 2,093$$

Como $0,083 < 2,093$ la hipótesis nula es aceptada

Test de la varianza con media conocida ($\mu=0$)

$$\text{Valor del estadístico } c = \frac{nS_{\mu}^2}{\sigma_0} = 8,84$$

$$\text{Valor crítico } \chi_{20; 0,05}^2 = 31,41$$

Como $8,84 < 31,410$ la hipótesis nula es aceptada. Precisión correcta.

Test de la varianza con media desconocida

$$\text{Valor del estadístico } c = \frac{(n-1)S^2}{\sigma_0/2} = 17,71$$

$$\text{Valor } \chi_{19; 0,05}^2 = 30,14$$

Como $17,71 < 30,14$ la hipótesis nula es aceptada. Precisión correcta.

Coordenada Z: Tabla de resultados obtenidos para la coordenada Z ($\Delta Z = Z^m - Z^l$)

N	ΔZ (mm)	$(\Delta Z)^2$	$\Delta Z - \Delta \bar{Z}$	$(\Delta Z - \Delta \bar{Z})^2$
1	0,620	0,3844	0,6095	0,37155
2	0,545	0,2970	0,5345	0,28574
3	0,291	0,0847	0,2805	0,07870
4	-0,534	0,2852	-0,5444	0,29642
5	-0,458	0,2098	-0,4684	0,21944
6	0,876	0,7674	0,8655	0,74917
7	-0,634	0,4019	-0,6444	0,41531
8	0,451	0,203	0,4405	0,19408
9	0,560	0,3136	0,5495	0,30200
10	-0,315	0,0992	-0,3254	0,10591
11	-0,453	0,2052	-0,4634	0,21478
12	0,758	0,5746	0,7475	0,55883
13	-0,453	0,2052	-0,4634	0,21478
14	0,658	0,4329	0,6475	0,41932
15	-0,693	0,4802	-0,7034	0,49484
16	-0,457	0,2088	-0,4674	0,21850
17	0,708	0,5013	0,6975	0,48657
18	-0,523	0,2735	-0,5334	0,28456
19	-0,457	0,2088	-0,4674	0,21850
20	-0,281	0,0789	-0,2914	0,08494

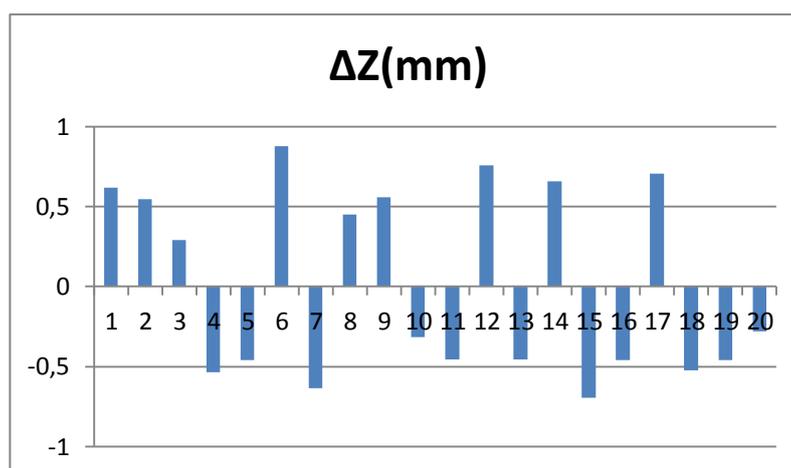


Gráfico de dispersión de las diferencias: ($\Delta Z = Z^m - Z^l$)

$$\text{Media de las discrepancias } \Delta\bar{Z} = \frac{\sum \Delta Z}{n} = 0,014 \text{ mm}$$

$$\text{Varianza respecto de una media cero } S_{\mu}^2 = \frac{\sum (\Delta Z)^2}{n} = 0,311 \text{ mm}^2$$

$$\text{Desviación típica respecto de una media cero } S_{\mu} = \sqrt{\frac{\sum (\Delta Z)^2}{n}} = \pm 0,558 \text{ mm}$$

$$\text{Varianza muestral (error medio cuadrático) } S^2 = \frac{\sum (\Delta Z - \Delta\bar{Z})^2}{n-1} = 0,327 \text{ mm}^2$$

$$\text{Desviación típica muestral (error medio) } S = \sqrt{\frac{\sum (\Delta Z - \Delta\bar{Z})^2}{n-1}} = \pm 0,572 \text{ mm}$$

Aplicación de los test de hipótesis

Test de la media con varianza conocida ($\sigma_0 = 0,50$)

$$\text{Valor del estadístico } y = \frac{(\bar{x} - \mu_0)\sqrt{n}}{\sigma_0} = 0,125$$

$$\text{Valor crítico } \lambda_{0,025} = 1,96$$

Como $0,125 < 1,96$ la hipótesis nula es aceptada: no existen sistematismos.

Test de la media con varianza desconocida

$$\text{Valor del estadístico } y = \frac{(\bar{x} - \mu_0)\sqrt{n}}{S} = 0,109$$

$$\text{Valor crítico } t_{19; 0,025} = 2,093$$

Como $0,109 < 2,093$ la hipótesis nula es aceptada

Test de la varianza con media conocida ($\mu=0$)

$$\text{Valor del estadístico } c = \frac{nS_{\mu}^2}{\sigma_0} = 12,44$$

$$\text{Valor crítico } \chi_{20; 0,05}^2 = 31,41$$

Como $12,44 < 31,41$ la hipótesis nula es aceptada. Precisión correcta.

Test de la varianza con media desconocida

$$\text{Valor del estadístico } c = \frac{(n-1)S^2}{\sigma_0/2} = 24,85$$

$$\text{Valor } \chi_{19; 0,05}^2 = 30,14$$

Como $24,85 < 30,14$ la hipótesis nula es aceptada. Precisión correcta.

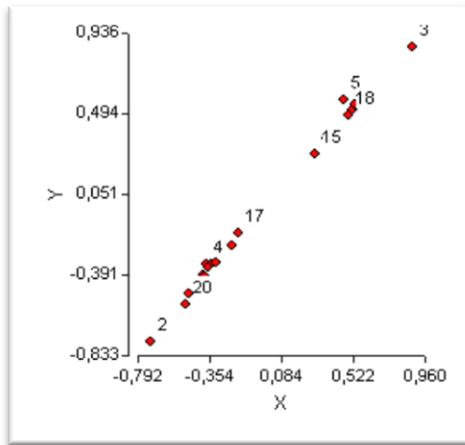


Gráfico 5.2. Gráfico de dispersión $\Delta Y_i - \Delta X_i$

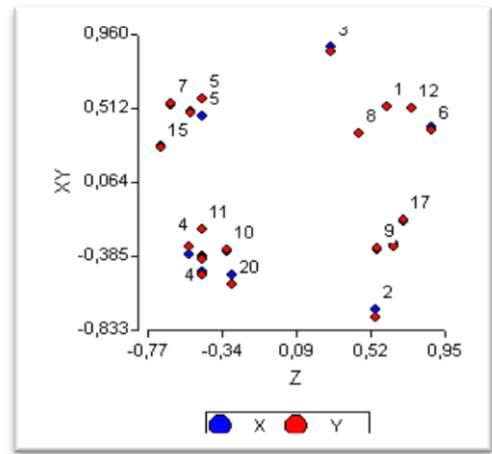


Gráfico 5.3. Gráfico de dispersión $\Delta X_i \Delta Y_i - \Delta Z_i$

Coordenadas X e Y: Tabla de resultados obtenidos para las coordenadas X e Y

N	$(\Delta X - \Delta \bar{X})^2$	$(\Delta Y - \Delta \bar{Y})^2$	$(\Delta X - \Delta \bar{X})^2 + (\Delta Y - \Delta \bar{Y})^2$
1	0,2638	0,26250	0,5263
2	0,5202	0,58011	1,1003
3	0,7581	0,71800	1,4761
4	0,1476	0,11604	0,2636
5	0,2040	0,31287	0,5169
6	0,1503	0,13715	0,2875
7	0,2742	0,28339	0,5576
8	0,1195	0,12065	0,2402
9	0,1241	0,11740	0,2415
10	0,1356	0,12934	0,2649
11	0,0530	0,05553	0,1085
12	0,2537	0,25336	0,5071
13	0,2423	0,25366	0,4960
14	0,1038	0,10999	0,2138
15	0,0760	0,07147	0,1475
16	0,1610	0,15892	0,3199
17	0,0335	0,02946	0,0630
18	0,2359	0,22881	0,4647
19	0,1546	0,16699	0,3216
20	0,2593	0,31770	0,5770

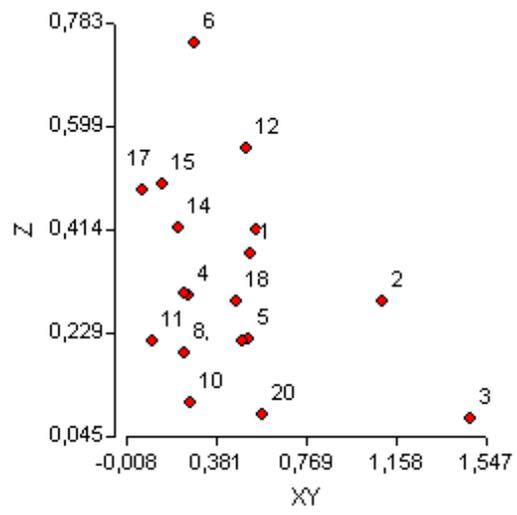


Gráfico de dispersión $(\Delta X - \Delta \bar{X})^2 + (\Delta Y - \Delta \bar{Y})^2 - (\Delta Z - \Delta \bar{Z})^2$

2.- Componente temática

Matriz de datos cualitativos

	Condiciones técnicas										Sistemas de expresión gráfica															Generalización cartográfica				
			Imagen satelital			Condiciones geodésicas							Variables visuales							Símbolos convencionales			Rep. del relieve							
																				IP	IL	IZ	PA	CN				IM	SEL	ESQ
	ESC	PRO	SEN	RES	TIP	LAT	LON	ALT	ELIP	DAT	ROT	ABR	TOP	FP	FL	FZ	TAM	ORI	COL	VAL	GRA	IP	IL	IZ	PA	CN	IM	SEL	ESQ	ARM
OB1	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
OB2	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	1	3	3	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2
OB3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	2	2	2	2
OB4	3	3	3	3	1	3	3	2	3	3	3	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	1	2	2
OB5	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	3	3	2	2	2	2	1	1	2	2	3	1	1	2
OB6	3	3	3	2	1	3	3	2	3	3	2	2	2	3	2	1	3	3	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2
OB7	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	3	3	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2
OB8	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	2	2	1	1	3	3	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	2
OB9	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	2	2	2
OB10	3	3	3	2	2	3	3	2	3	3	2	2	2	2	1	1	3	3	2	2	2	2	1	1	2	2	3	2	1	2
OB11	3	3	3	2	1	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
OB12	3	3	3	2	1	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	1	3	3	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2
OB13	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	2	2	2	2
OB14	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	1	2	2
OB15	3	3	3	2	2	3	3	2	3	3	2	2	2	2	1	1	3	3	2	2	2	2	1	1	2	2	3	1	1	2
OB16	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	2	2	3	2	1	3	3	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2
OB17	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	2	2	1	3	3	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2
OB18	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	3	3	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	2
OB19	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	2	2	2
OB20	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	3	3	2	2	2	2	1	1	2	2	3	2	1	2

Correlación. Distancias entre atributos. Análisis de conglomerados

Tabla de distancias entre atributos (obtenida a partir del coeficiente de similitud por empates simples)

	ESC	PRO	SEN	RES	TIP	LAT	LON	ALT	ELIP	DAT	ROT	ABR	TOP	FP	FL	FZ	TAM	ORI	COL	VAL
	GRA	IP	IL	IZ	PA	CN	IM	SEL	ESQ	ARM										
ESC	0,00																			
PRO	0,00	0,00																		
SEN	0,00	0,00	0,00																	
RES	0,40	0,40	0,40	0,00																
TIP	0,30	0,30	0,30	0,40	0,00															
LAT	0,00	0,00	0,00	0,40	0,30	0,00														
LON	0,00	0,00	0,00	0,40	0,30	0,00	0,00													
ALT	0,35	0,35	0,35	0,45	0,45	0,35	0,35	0,00												
ELIP	0,00	0,00	0,00	0,40	0,30	0,00	0,00	0,35	0,00											
DAT	0,00	0,00	0,00	0,40	0,30	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00										
ROT	0,30	0,30	0,30	0,30	0,50	0,30	0,30	0,25	0,30	0,30	0,00									
ABR	0,30	0,30	0,30	0,30	0,50	0,30	0,30	0,25	0,30	0,30	0,00	0,00								
TOP	0,00	0,00	0,00	0,40	0,30	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00	0,30	0,30	0,00							
FP	0,40	0,40	0,40	0,50	0,60	0,40	0,40	0,35	0,40	0,40	0,30	0,30	0,40	0,00						
FL	0,30	0,30	0,30	0,40	0,60	0,30	0,30	0,35	0,30	0,30	0,20	0,20	0,30	0,10	0,00					
FZ	0,60	0,60	0,60	0,40	0,60	0,60	0,60	0,35	0,60	0,60	0,30	0,30	0,60	0,20	0,30	0,00				
TAM	0,00	0,00	0,00	0,40	0,30	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00	0,30	0,30	0,00	0,40	0,30	0,60	0,00			
ORI	0,00	0,00	0,00	0,40	0,30	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00	0,30	0,30	0,00	0,40	0,30	0,60	0,00	0,00		
COL	0,70	0,70	0,70	0,30	0,60	0,70	0,70	0,45	0,70	0,70	0,40	0,40	0,70	0,30	0,40	0,10	0,70	0,70	0,00	
VAL	0,70	0,70	0,70	0,30	0,60	0,70	0,70	0,45	0,70	0,70	0,40	0,40	0,70	0,30	0,40	0,10	0,70	0,70	0,00	0,00

GRA	0,70	0,70	0,70	0,30	0,60	0,70	0,70	0,45	0,70	0,70	0,40	0,40	0,70	0,30	0,40	0,10	0,70	0,70	0,00	0,00
IP	0,00	0,00	0,00	0,40	0,30	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00	0,30	0,30	0,00	0,40	0,30	0,60	0,00	0,00	0,70	0,70
IL	0,30	0,30	0,30	0,40	0,60	0,30	0,30	0,35	0,30	0,30	0,20	0,20	0,30	0,10	0,00	0,30	0,30	0,30	0,40	0,40
IZ	0,60	0,60	0,60	0,40	0,60	0,60	0,60	0,35	0,60	0,60	0,30	0,30	0,60	0,20	0,30	0,00	0,60	0,60	0,10	0,10
PA	0,00	0,00	0,00	0,40	0,30	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00	0,30	0,30	0,00	0,40	0,30	0,60	0,00	0,00	0,70	0,70
CN	0,40	0,40	0,40	0,70	0,50	0,40	0,40	0,35	0,40	0,40	0,50	0,50	0,40	0,40	0,50	0,40	0,40	0,40	0,50	0,50
IM	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,60	0,60	0,55	0,60	0,60	0,70	0,70	0,60	0,60	0,70	0,40	0,60	0,60	0,30	0,30
SEL	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,60	0,60	0,35	0,60	0,60	0,50	0,50	0,60	0,40	0,50	0,20	0,60	0,60	0,30	0,30
ESQ	0,60	0,60	0,60	0,40	0,60	0,60	0,60	0,35	0,60	0,60	0,30	0,30	0,60	0,20	0,30	0,00	0,60	0,60	0,10	0,10
ARM	0,00	0,00	0,00	0,40	0,30	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00	0,30	0,30	0,00	0,40	0,30	0,60	0,00	0,00	0,70	0,70
	0,70	0,00	0,30	0,60	0,00	0,40	0,60	0,60	0,60	0,00										

Encadenamiento promedio (average linkage)

Distancia: Simple Matching

nodo1	nodo2	distancia	nodo1	nodo2	distancia
PA	ARM	0,00	IZ	ESQ	0,00
IP	PA	0,00	VAL	GRA	0,00
COL	VAL	0,00	ORI	IP	0,00
TAM	ORI	0,00	FZ	IZ	0,00
FL	IL	0,00	TOP	TAM	0,00
ROT	ABR	0,00	DAT	TOP	0,00
ELIP	DAT	0,00	SEN	LAT	0,00
PRO	SEN	0,00	ESC	PRO	0,00
FZ	COL	0,10	FP	FL	0,10
CN	IM	0,20	ROT	FP	0,23
FZ	SEL	0,25	ESC	TIP	0,30
ALT	ROT	0,31	ESC	ALT	0,34
RES	FZ	0,37	RES	CN	0,43
			ESC	RES	0,53

Dendograma resultante del algoritmo “encadenamiento promedio” aplicado a la matriz de distancias obtenida a partir del coeficiente de similitud por empates simples

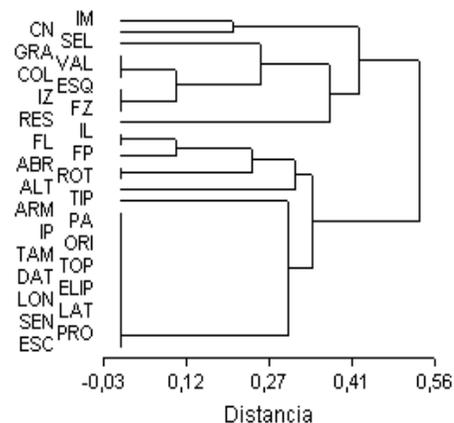


Tabla de distancias entre atributos incluidos en el grupo de condiciones técnicas (obtenida a partir del coeficiente de similitud por empates simples)

	ESC	PRO	SEN	RES	TIP	LAT	LON	ALT	ELIP	DAT
ESC	0,00									
PRO	0,00	0,00								
SEN	0,00	0,00	0,00							
RES	0,40	0,40	0,40	0,00						
TIP	0,30	0,30	0,30	0,40	0,00					
LAT	0,00	0,00	0,00	0,40	0,30	0,00				
LON	0,00	0,00	0,00	0,40	0,30	0,00	0,00			
ALT	0,35	0,35	0,35	0,45	0,45	0,35	0,35	0,00		
ELIP	0,00	0,00	0,00	0,40	0,30	0,00	0,00	0,35	0,00	
DAT	0,00	0,00	0,00	0,40	0,30	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00

Encadenamiento promedio (average linkage)

Distancia: (Simple Matching)

Variables estandarizadas

nodo1	nodo2	distancia
ELIP	DAT	0,00
LON	ELIP	0,00
LAT	LON	0,00
SEN	LAT	0,00
PRO	SEN	0,00
ESC	PRO	0,00
ESC	TIP	0,30
ESC	ALT	0,36
ESC	RES	0,41

Dendograma resultante del algoritmo “encadenamiento promedio” aplicado a la matriz de distancias obtenida a partir del coeficiente de similitud por empates simples

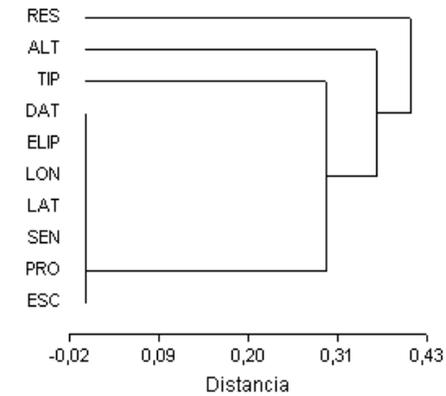


Tabla de distancias entre atributos incluidos en el grupo de sistemas de expresión gráfica (obtenida a partir del coeficiente de similitud por empates simples)

	ROT	ABR	TOP	FP	FL	FZ	TAM	ORI	COL	VAL	GRA	IP	IL	IZ	PA	CN	IM
ROT	0,00																
ABR	0,00	0,00															
TOP	0,30	0,30	0,00														
FP	0,30	0,30	0,40	0,00													
FL	0,20	0,20	0,30	0,10	0,00												
FZ	0,30	0,30	0,60	0,20	0,30	0,00											
TAM	0,30	0,30	0,00	0,40	0,30	0,60	0,00										
ORI	0,30	0,30	0,00	0,40	0,30	0,60	0,00	0,00									
COL	0,40	0,40	0,70	0,30	0,40	0,10	0,70	0,70	0,00								
VAL	0,40	0,40	0,70	0,30	0,40	0,10	0,70	0,70	0,00	0,00							
GRA	0,40	0,40	0,70	0,30	0,40	0,10	0,70	0,70	0,00	0,00	0,00						
IP	0,30	0,30	0,00	0,40	0,30	0,60	0,00	0,00	0,70	0,70	0,70	0,00					
IL	0,20	0,20	0,30	0,10	0,00	0,30	0,30	0,30	0,40	0,40	0,40	0,30	0,00				
IZ	0,30	0,30	0,60	0,20	0,30	0,00	0,60	0,60	0,10	0,10	0,10	0,60	0,30	0,00			
PA	0,30	0,30	0,00	0,40	0,30	0,60	0,00	0,00	0,70	0,70	0,70	0,00	0,30	0,60	0,00		
CN	0,50	0,50	0,40	0,40	0,50	0,40	0,40	0,40	0,50	0,50	0,50	0,40	0,50	0,40	0,40	0,00	
IM	0,70	0,70	0,60	0,60	0,70	0,40	0,60	0,60	0,30	0,30	0,30	0,60	0,70	0,40	0,60	0,20	0,00

Encadenamiento promedio (average linkage)

Distancia: (Simple Matching)

nodo1	nodo2	distancia
IP	PA	0,00
VAL	GRA	0,00
COL	VAL	0,00
ORI	IP	0,00
TAM	ORI	0,00
FZ	IZ	0,00
FL	IL	0,00
TOP	TAM	0,00
ROT	ABR	0,00
FZ	COL	0,10
FP	FL	0,10
CN	IM	0,20
ROT	FP	0,23
ROT	TOP	0,32
FZ	CN	0,40
ROT	FZ	0,51

Dendograma resultante del algoritmo “encadenamiento promedio” aplicado a la matriz de distancias obtenida a partir del coeficiente de similitud por empates simples

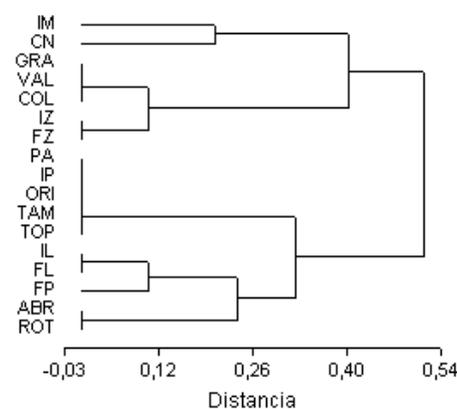


Tabla de distancias entre atributos incluidos en el grupo de generalización cartográfica (obtenida a partir del coeficiente de similitud por empates simples)

	SEL	ESQ	ARM
SEL	0,00		
ESQ	0,20	0,00	
ARM	0,60	0,60	0,00

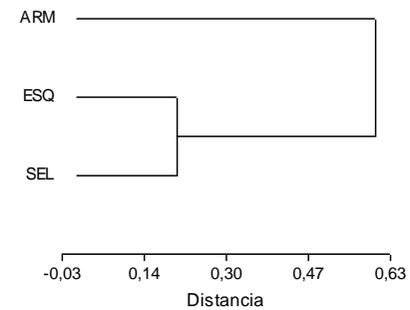
Encadenamiento promedio (average linkage)

Distancia: (Simple Matching)

Variables estandarizadas

nodo1	nodo2	distancia
SEL	ESQ	0,20
SEL	ARM	0,60

Dendograma resultante del algoritmo “encadenamiento promedio” aplicado a la matriz de distancias obtenida a partir del coeficiente de similitud por empates simples



Análisis de correspondencias

Matriz de BURT

En columnas: ESC:PRO:SEN:RES:TIP:LAT:LON:ALT:ELIP:DAT:ROT:ABR:TOP:FP:FL:FZ:TAM:ORI:COL:VAL:GRA:IP:IL:IZ:PA:CN:IM:SEL:ESQ:ARM

En filas: ESC:PRO:SEN:RES:TIP:LAT:LON:ALT:ELIP:DAT:ROT:ABR:TOP:FP:FL:FZ:TAM:ORI:COL:VAL:GRA:IP:IL:IZ:PA:CN:IM:SEL:ESQ:ARM

	3	3	3	2	3	1	2	3	3	3	2	3	3	3	2	3	2	3	2	2
	3	1	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	1	2	1
	2	2	1	2	2	3	1	2	1	2	2	Total								
3	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	6	14	6	14	20	8
	12	6	14	12	8	20	20	2	12	6	2	12	6	2	12	6	20	6	14	12
	8	20	8	12	12	8	12	8	12	8	20	600								
3	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	6	14	6	14	20	8
	12	6	14	12	8	20	20	2	12	6	2	12	6	2	12	6	20	6	14	12
	8	20	8	12	12	8	12	8	12	8	20	600								
3	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	6	14	6	14	20	8
	12	6	14	12	8	20	20	2	12	6	2	12	6	2	12	6	20	6	14	12
	8	20	8	12	12	8	12	8	12	8	20	600								
2	8	8	8	8	0	3	5	0	8	8	3	5	8	8	4	4	4	4	8	3
	5	3	5	6	2	8	8	0	8	0	0	8	0	0	8	0	8	0	8	6
	2	8	1	7	5	3	5	3	6	2	8	240								
3	12	12	12	0	12	3	6	3	12	12	4	8	12	12	2	10	2	10	12	5
	7	3	9	6	6	12	12	2	4	6	2	4	6	2	4	6	12	3	9	6
	6	12	7	5	7	5	7	5	6	6	12	360								
1	6	6	6	3	3	6	6	0	6	6	2	4	6	6	1	5	1	5	6	1
	5	0	6	3	3	6	6	0	4	2	0	4	2	0	4	2	6	0	6	3
	3	6	2	4	4	2	4	2	3	3	6	180								
2	11	11	11	5	6	0	11	0	11	11	3	8	11	11	4	7	4	7	11	5
	6	5	6	6	5	11	11	1	6	4	1	6	4	1	6	4	11	5	6	6
	5	11	3	8	5	6	5	6	6	5	11	330								
3	3	3	3	0	3	0	0	3	3	3	2	1	3	3	1	2	1	2	3	2
	1	1	2	3	0	3	3	1	2	0	1	2	0	1	2	0	3	1	2	3
	0	3	3	0	3	0	3	0	3	0	3	90								
3	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	6	14	6	14	20	8
	12	6	14	12	8	20	20	2	12	6	2	12	6	2	12	6	20	6	14	12
	8	20	8	12	12	8	12	8	12	8	20	600								
3	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	6	14	6	14	20	8
	12	6	14	12	8	20	20	2	12	6	2	12	6	2	12	6	20	6	14	12
	8	20	8	12	12	8	12	8	12	8	20	600								
2	7	7	7	3	4	2	3	2	7	7	7	0	7	7	4	3	4	3	7	4
	3	3	4	6	1	7	7	1	5	1	1	5	1	1	5	1	7	3	4	6
	1	7	4	3	4	3	6	1	6	1	7	210								
3	13	13	13	5	8	4	8	1	13	13	0	13	13	13	2	11	2	11	13	4
	9	3	10	6	7	13	13	1	7	5	1	7	5	1	7	5	13	3	10	6
	7	13	4	9	8	5	6	7	6	7	13	390								

3	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	6	14	6	14	20	8
	12	6	14	12	8	20	20	2	12	6	2	12	6	2	12	6	20	6	14	12
	8	20	8	12	12	8	12	8	12	8	20	600								
3	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	6	14	6	14	20	8
	12	6	14	12	8	20	20	2	12	6	2	12	6	2	12	6	20	6	14	12
	8	20	8	12	12	8	12	8	12	8	20	600								
2	6	6	6	4	2	1	4	1	6	6	4	2	6	6	6	0	6	0	6	4
	2	4	2	6	0	6	6	0	6	0	0	6	0	0	6	0	6	0	6	6
	0	6	2	4	2	4	4	2	6	0	6	180								
3	14	14	14	4	10	5	7	2	14	14	3	11	14	14	0	14	0	14	14	4
	10	2	12	6	8	14	14	2	6	6	2	6	6	2	6	6	14	2	12	6
	8	14	6	8	10	4	8	6	6	8	14	420								
2	6	6	6	4	2	1	4	1	6	6	4	2	6	6	6	0	6	0	6	4
	2	4	2	6	0	6	6	0	6	0	0	6	0	0	6	0	6	4	2	6
	0	6	2	4	2	4	4	2	6	0	6	180								
3	14	14	14	4	10	5	7	2	14	14	3	11	14	14	0	14	0	14	14	4
	10	2	12	6	8	14	14	2	6	6	2	6	6	2	6	6	14	2	12	6
	8	14	6	8	10	4	8	6	6	8	14	420								
2	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	6	14	6	14	20	8
	12	6	14	12	8	20	20	2	12	6	2	12	6	2	12	6	20	6	14	12
	8	20	8	12	12	8	12	8	12	8	20	600								
2	8	8	8	3	5	1	5	2	8	8	4	4	8	8	4	4	4	4	8	8
	0	6	2	8	0	8	8	2	6	0	2	6	0	2	6	0	8	6	2	8
	0	8	4	4	4	4	6	2	8	0	8	240								
3	12	12	12	5	7	5	6	1	12	12	3	9	12	12	2	10	2	10	12	0
	12	0	12	4	8	12	12	0	6	6	0	6	6	0	6	6	12	0	12	4
	8	12	4	8	8	4	6	6	4	8	12	360								
1	6	6	6	3	3	0	5	1	6	6	3	3	6	6	4	2	4	2	6	6
	0	6	0	6	0	6	6	2	4	0	2	4	0	2	4	0	6	6	0	6
	0	6	2	4	2	4	4	2	6	0	6	180								
2	14	14	14	5	9	6	6	2	14	14	4	10	14	14	2	12	2	12	14	2
	12	0	14	6	8	14	14	0	8	6	0	8	6	0	8	6	14	0	14	6
	8	14	6	8	10	4	8	6	6	8	14	420								
1	12	12	12	6	6	3	6	3	12	12	6	6	12	12	6	6	6	6	12	8
	4	6	6	12	0	12	12	2	10	0	2	10	0	2	10	0	12	6	6	12
	0	12	6	6	8	4	10	2	12	0	12	360								
2	8	8	8	2	6	3	5	0	8	8	1	7	8	8	0	8	0	8	8	0
	8	0	8	0	8	8	8	0	2	6	0	2	6	0	2	6	8	0	8	0
	8	8	2	6	4	4	2	6	0	8	8	240								
3	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	6	14	6	14	20	8
	12	6	14	12	8	20	20	2	12	6	2	12	6	2	12	6	20	6	14	12
	8	20	8	12	12	8	12	8	12	8	20	600								
3	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	6	14	6	14	20	8
	12	6	14	12	8	20	20	2	12	6	2	12	6	2	12	6	20	6	14	12
	8	20	8	12	12	8	12	8	12	8	20	600								
3	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	6	14	6	14	20	8
	12	6	14	12	8	20	20	2	12	6	2	12	6	2	12	6	20	6	14	12
	8	20	8	12	12	8	12	8	12	8	20	600								
3	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	6	14	6	14	20	8
	12	6	14	12	8	20	20	2	12	6	2	12	6	2	12	6	20	6	14	12
	8	20	8	12	12	8	12	8	12	8	20	600								
3	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	6	14	6	14	20	8
	12	6	14	12	8	20	20	2	12	6	2	12	6	2	12	6	20	6	14	12
	8	20	8	12	12	8	12	8	12	8	20	600								

1	2	2	2	0	2	0	1	1	2	2	1	1	2	2	0	2	0	2	2	2
	0	2	0	2	0	2	2	2	0	0	2	0	0	0	2	0	0	2	2	0
	0	2	2	0	2	0	2	0	2	0	2	60								2
2	12	12	12	8	4	4	6	2	12	12	5	7	12	12	6	6	6	6	12	6
	6	4	8	10	2	12	12	0	12	0	0	12	0	0	12	0	12	6	8	10
	2	12	4	8	8	4	8	4	10	2	12	360								
3	6	6	6	0	6	2	4	0	6	6	1	5	6	6	0	6	0	6	6	0
	6	0	6	0	6	6	6	0	0	6	0	0	6	0	0	6	6	0	6	0
	6	6	2	4	2	4	2	4	0	6	6	180								
1	2	2	2	0	2	0	1	1	2	2	1	1	2	2	0	2	0	2	2	2
	0	2	0	2	0	2	2	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	2	0	2
	0	2	2	0	2	0	2	0	2	0	2	60								
2	12	12	12	8	4	4	6	2	12	12	5	7	12	12	6	6	6	6	12	6
	6	4	8	10	2	12	12	0	12	0	0	12	0	0	12	0	12	4	8	10
	2	12	4	8	8	4	8	4	10	2	12	360								
3	6	6	6	0	6	2	4	0	6	6	1	5	6	6	0	6	0	6	6	0
	6	0	6	0	6	6	6	0	0	6	0	0	6	0	0	6	6	0	6	0
	6	6	2	4	2	4	2	4	0	6	6	180								
1	2	2	2	0	2	0	1	1	2	2	1	1	2	2	0	2	0	2	2	2
	0	2	0	2	0	2	2	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	2	0	2
	0	2	2	0	2	0	2	0	2	0	2	60								
2	12	12	12	8	4	4	6	2	12	12	5	7	12	12	6	6	6	6	12	6
	6	4	8	10	2	12	12	0	12	0	0	12	0	0	12	0	12	4	8	10
	2	12	4	8	8	4	8	4	10	2	12	360								
3	6	6	6	0	6	2	4	0	6	6	1	5	6	6	0	6	0	6	6	0
	6	0	6	0	6	6	6	0	0	6	0	0	6	0	0	6	6	0	6	0
	6	6	2	4	2	4	2	4	0	6	6	180								
2	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	6	14	6	14	20	8
	12	6	14	12	8	20	20	2	12	6	2	12	6	2	12	6	20	6	14	12
	8	20	8	12	12	8	12	8	12	8	20	600								
1	6	6	6	3	3	0	5	1	6	6	3	3	6	6	4	2	4	2	6	6
	0	6	0	6	0	6	6	2	4	0	2	4	0	2	4	0	6	6	0	6
	0	6	2	4	2	4	4	2	6	0	6	180								
2	14	14	14	5	9	6	6	2	14	14	4	10	14	14	2	12	2	12	14	2
	12	0	14	6	8	14	14	0	8	6	0	8	6	0	8	6	14	0	14	6
	8	14	6	8	10	4	8	6	6	8	14	420								
1	12	12	12	6	6	3	6	3	12	12	6	6	12	12	6	6	6	6	12	8
	4	6	6	12	0	12	12	2	10	0	2	10	0	2	10	0	12	6	6	12
	0	12	6	6	8	4	10	2	12	0	12	360								
2	8	8	8	2	6	3	5	0	8	8	1	7	8	8	0	8	0	8	8	0
	8	0	8	0	8	8	8	0	2	6	0	2	6	0	2	6	8	0	8	0
	8	8	2	6	4	4	2	6	0	8	8	240								
2	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	6	14	6	14	20	8
	12	6	14	12	8	20	20	2	12	6	2	12	6	2	12	6	20	6	14	12
	8	20	8	12	12	8	12	8	12	8	20	600								

1	8	8	8	1	7	2	3	3	8	8	4	4	8	8	2	6	2	6	8	4
	4	2	6	6	2	8	8	2	4	2	2	4	2	2	4	2	8	2	6	6
	2	8	8	0	8	0	6	2	6	2	8	240								
2	12	12	12	7	5	4	8	0	12	12	3	9	12	12	4	8	4	8	12	4
	8	4	8	6	6	12	12	0	8	4	0	8	4	0	8	4	12	4	8	6
	6	12	0	12	4	8	6	6	6	6	12	360								
2	12	12	12	5	7	4	5	3	12	12	4	8	12	12	2	10	2	10	12	4
	8	2	10	8	4	12	12	2	8	2	2	8	2	2	8	2	12	2	10	8
	4	12	8	4	12	0	8	4	8	4	12	360								
3	8	8	8	3	5	2	6	0	8	8	3	5	8	8	4	4	4	4	8	4
	4	4	4	4	4	8	8	0	4	4	0	4	4	0	4	4	8	4	4	4
	4	8	0	8	0	8	4	4	4	4	8	240								
1	12	12	12	5	7	4	5	3	12	12	6	6	12	12	4	8	4	8	12	6
	6	4	8	10	2	12	12	2	8	2	2	8	2	2	8	2	12	4	8	10
	2	12	6	6	8	4	12	0	10	2	12	360								
2	8	8	8	3	5	2	6	0	8	8	1	7	8	8	2	6	2	6	8	2
	6	2	6	2	6	8	8	0	4	4	0	4	4	0	4	4	8	2	6	2
	6	8	2	6	4	4	0	8	2	6	8	240								
1	12	12	12	6	6	3	6	3	12	12	6	6	12	12	6	6	6	6	12	8
	4	6	6	12	0	12	12	2	10	0	2	10	0	2	10	0	12	6	6	12
	0	12	6	6	8	4	10	2	12	0	12	360								
2	8	8	8	2	6	3	5	0	8	8	1	7	8	8	0	8	0	8	8	0
	8	0	8	0	8	8	8	0	2	6	0	2	6	0	2	6				
	8	0	8	0	8	8	2	6	4	4	2	6	0	8	8	240				
2	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	6	14	6	14	20	8
	12	6	14	12	8	20	20	2	12	6	2	12	6	2	12	6	20	6	14	12
	8	20	8	12	12	8	12	8	12	8	20	600								
Total	600	600	600	240	360	180	330	90	600	600	210	390	600	600	180	420	180	420	600	240
	360	180	420	360	240	600	600	60	360	180	60	360	180	60	360	180	600	180	420	360
	240	600	240	360	360	240	360	240	360	240	600	18000								

Contribuciones por celda al estadístico chi-cuadrado

En columnas: ESC:PRO:SEN:RES:TIP:LAT:LON:ALT:ELIP:DAT:ROT:ABR:TOP:FP:FL:FZ:TAM:ORI:COL:VAL:GRA:IP:IL:IZ:PA:CN:IM:SEL:ESQ:ARM

En filas: ESC:PRO:SEN:RES:TIP:LAT:LON:ALT:ELIP:DAT:ROT:ABR:TOP:FP:FL:FZ:TAM:ORI:COL:VAL:GRA:IP:IL:IZ:PA:CN:IM:SEL:ESQ:ARM

	3	3	3	2	3	1	2	3	3	3	2	3	3	3	2	3	2	3	2	2
	3	1	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	1	2	1
	2	2	1	2	2	3	1	2	1	2	2	Total								
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	7,20	4,80	0,15	0,08	1,20	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	1,07	0,46	1,07	0,46	0,00	0,01	0,01
	0,01	0,15	0,06	0,30	0,45	0,00	0,00	0,80	2,13	2,40	0,80	2,13	2,40	0,80	2,13	2,40	0,00	0,15	0,06	0,30	0,30
	0,45	0,00	1,51	1,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,30	0,45	0,00	37,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	4,80	3,20	0,10	0,05	0,80	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,71	0,30	0,71	0,30	0,00	0,01	0,01
	0,01	0,10	0,04	0,20	0,30	0,00	0,00	0,53	1,42	1,60	0,53	1,42	1,60	0,53	1,42	1,60	0,00	0,10	0,04	0,20	0,20
	0,30	0,00	1,01	0,67	0,01	0,01	0,01	0,01	0,20	0,30	0,00	25,18	0,00	0,00	0,36	0,15	0,36	0,15	0,00	0,82	0,82
1	0,00	0,00	0,00	0,15	0,10	0,15	9,80	3,30	0,00	0,00	4,8E-03	2,6E-03	0,00	0,00	0,36	0,15	0,36	0,15	0,00	0,82	0,82
	0,54	1,80	0,77	0,10	0,15	0,00	0,00	0,60	0,04	0,02	0,60	0,04	0,02	0,60	0,04	0,02	0,60	0,04	1,80	0,77	0,10
	0,15	0,00	0,07	0,04	0,04	0,07	0,04	0,07	0,10	0,15	0,00	24,86	0,00	0,00	0,04	0,02	0,00	1,80	0,77	0,10	0,10
2	0,00	0,00	0,00	0,08	0,05	3,30	4,05	1,65	0,00	0,00	0,19	0,10	0,00	0,00	0,15	0,06	0,15	0,06	0,00	0,08	0,08
	0,05	0,88	0,38	0,05	0,08	0,00	0,00	0,01	0,05	0,15	0,01	0,05	0,15	0,01	0,05	0,15	0,00	0,88	0,38	0,05	0,05
	0,08	0,00	0,45	0,30	0,39	0,58	0,39	0,58	0,05	0,08	0,00	16,22	0,00	0,00	0,05	0,15	0,00	0,88	0,38	0,05	0,05
3	0,00	0,00	0,00	1,20	0,80	0,90	1,65	14,45	0,00	0,00	0,86	0,46	0,00	0,00	0,01	4,8E-03	0,01	4,8E-03	0,00	0,53	0,53
	0,36	0,01	4,8E-03	0,80	1,20	0,00	0,00	1,63	0,02	0,90	1,63	0,02	0,90	1,63	0,02	0,90	0,00	0,01	4,8E-03	0,00	0,53
	1,20	0,00	2,70	1,80	0,80	1,20	0,80	1,20	0,80	1,20	0,00	43,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	4,8E-03	0,19	0,86	0,00	0,00	8,45	4,55	0,00	0,00	1,72	0,74	1,72	0,74	0,00	0,51	0,51
	0,34	0,39	0,17	0,77	1,16	0,00	0,00	0,13	0,15	0,58	0,13	0,15	0,58	0,13	0,15	0,58	0,00	0,39	0,17	0,77	0,77
	1,16	0,00	0,51	0,34	0,01	0,01	0,77	1,16	0,77	1,16	0,00	32,11	0,00	0,00	0,93	0,40	0,93	0,40	0,00	0,28	0,28
3	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	2,6E-03	0,10	0,46	0,00	0,00	4,55	2,45	0,00	0,00	0,93	0,40	0,93	0,40	0,00	0,28	0,28
	0,18	0,21	0,09	0,42	0,62	0,00	0,00	0,07	0,08	0,31	0,07	0,08	0,31	0,07	0,08	0,31	0,00	0,21	0,09	0,42	0,42
	0,62	0,00	0,28	0,18	0,01	0,01	0,42	0,62	0,42	0,62	0,00	17,29	0,00	0,00	0,08	0,31	0,00	0,21	0,09	0,42	0,42
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	1,07	0,71	0,36	0,15	0,01	0,00	0,00	1,72	0,93	0,00	0,00	9,80	4,20	9,80	4,20	0,00	1,07	1,07
	0,71	2,69	1,15	1,60	2,40	0,00	0,00	0,60	1,60	1,80	0,60	1,60	1,80	0,60	1,60	1,80	0,00	2,69	1,15	1,60	1,60
	2,40	0,00	0,07	0,04	0,71	1,07	0,04	0,07	1,60	2,40	0,00	68,40	0,00	0,00	0,60	1,80	0,00	2,69	1,15	1,60	1,60
3	0,00	0,00	0,00	0,46	0,30	0,15	0,06	4,8E-03	0,00	0,00	0,74	0,40	0,00	0,00	4,20	1,80	4,20	1,80	0,00	0,46	0,46
	0,30	1,15	0,49	0,69	1,03	0,00	0,00	0,26	0,69	0,77	0,26	0,69	0,77	0,26	0,69	0,77	0,00	1,15	0,49	0,69	0,69
	1,03	0,00	0,03	0,02	0,30	0,46	0,02	0,03	0,69	1,03	0,00	29,31	0,00	0,00	0,69	0,77	0,00	1,15	0,49	0,69	0,69

2	0,00	0,00	0,00	1,07	0,71	0,36	0,15	0,01	0,00	0,00	1,72	0,93	0,00	0,00	9,80	4,20	9,80	4,20	0,00	1,07
	0,71	2,69	1,15	1,60	2,40	0,00	0,00	0,60	1,60	1,80	0,60	1,60	1,80	0,60	1,60	1,80	0,00	2,69	1,15	1,60
	2,40	0,00	0,07	0,04	0,71	1,07	0,04	0,07	1,60	2,40	0,00	68,40								
3	0,00	0,00	0,00	0,46	0,30	0,15	0,06	4,8E-03	0,00	0,00	0,74	0,40	0,00	0,00	4,20	1,80	4,20	1,80	0,00	0,46
	0,30	1,15	0,49	0,69	1,03	0,00	0,00	0,26	0,69	0,77	0,26	0,69	0,77	0,26	0,69	0,77	0,00	1,15	0,49	0,69
	1,03	0,00	0,03	0,02	0,30	0,46	0,02	0,03	0,69	1,03	0,00	29,31								
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,82	0,08	0,53	0,00	0,00	0,51	0,28	0,00	0,00	1,07	0,46	1,07	0,46	0,00	7,20
	4,80	5,40	2,31	2,13	3,20	0,00	0,00	1,80	0,30	2,40	1,80	0,30	2,40	1,80	0,30	2,40	0,00	5,40	2,31	2,13
	3,20	0,00	0,20	0,13	0,13	0,20	0,30	0,45	2,13	3,20	0,00	63,64								
3	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,54	0,05	0,36	0,00	0,00	0,34	0,18	0,00	0,00	0,71	0,30	0,71	0,30	0,00	4,80
	3,20	3,60	1,54	1,42	2,13	0,00	0,00	1,20	0,20	1,60	1,20	0,20	1,60	1,20	0,20	1,60	0,00	3,60	1,54	1,42
	2,13	0,00	0,13	0,09	0,09	0,13	0,20	0,30	1,42	2,13	0,00	42,42								
1	0,00	0,00	0,00	0,15	0,10	1,80	0,88	0,01	0,00	0,00	0,39	0,21	0,00	0,00	2,69	1,15	2,69	1,15	0,00	5,40
	3,60	9,80	4,20	1,60	2,40	0,00	0,00	3,27	0,04	1,80	3,27	0,04	1,80	3,27	0,04	1,80	0,00	9,80	4,20	1,60
	2,40	0,00	0,07	0,04	0,71	1,07	0,04	0,07	1,60	2,40	0,00	77,55								
2	0,00	0,00	0,00	0,06	0,04	0,77	0,38	4,8E-03	0,00	0,00	0,17	0,09	0,00	0,00	1,15	0,49	1,15	0,49	0,00	2,31
	1,54	4,20	1,80	0,69	1,03	0,00	0,00	1,40	0,02	0,77	1,40	0,02	0,77	1,40	0,02	0,77	0,00	4,20	1,80	0,69
	1,03	0,00	0,03	0,02	0,30	0,46	0,02	0,03	0,69	1,03	0,00	33,23								
1	0,00	0,00	0,00	0,30	0,20	0,10	0,05	0,80	0,00	0,00	0,77	0,42	0,00	0,00	1,60	0,69	1,60	0,69	0,00	2,13
	1,42	1,60	0,69	3,20	4,80	0,00	0,00	0,53	1,09	3,60	0,53	1,09	3,60	0,53	1,09	3,60	0,00	1,60	0,69	3,20
	4,80	0,00	0,30	0,20	0,09	0,13	1,09	1,63	3,20	4,80	0,00	58,45								
2	0,00	0,00	0,00	0,45	0,30	0,15	0,08	1,20	0,00	0,00	1,16	0,62	0,00	0,00	2,40	1,03	2,40	1,03	0,00	3,20
	2,13	2,40	1,03	4,80	7,20	0,00	0,00	0,80	1,63	5,40	0,80	1,63	5,40	0,80	1,63	5,40	0,00	2,40	1,03	4,80
	7,20	0,00	0,45	0,30	0,13	0,20	1,63	2,45	4,80	7,20	0,00	87,68								
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,80	0,53	0,60	0,01	1,63	0,00	0,00	0,13	0,07	0,00	0,00	0,60	0,26	0,60	0,26	0,00	1,80
	1,20	3,27	1,40	0,53	0,80	0,00	0,00	16,20	1,20	0,60	16,20	1,20	0,60	16,20	1,20	0,60	0,00	3,27	1,40	0,53
	0,80	0,00	1,80	1,20	0,53	0,80	0,53	0,80	0,53	0,80	0,00	81,49								
2	0,00	0,00	0,00	2,13	1,42	0,04	0,05	0,02	0,00	0,00	0,15	0,08	0,00	0,00	1,60	0,69	1,60	0,69	0,00	0,30
	0,20	0,04	0,02	1,09	1,63	0,00	0,00	1,20	3,20	3,60	1,20	3,20	3,60	1,20	3,20	3,60	0,00	0,04	0,02	1,09
	1,63	0,00	0,13	0,09	0,09	0,13	0,09	0,13	1,09	1,63	0,00	41,94								
3	0,00	0,00	0,00	2,40	1,60	0,02	0,15	0,90	0,00	0,00	0,58	0,31	0,00	0,00	1,80	0,77	1,80	0,77	0,00	2,40
	1,60	1,80	0,77	3,60	5,40	0,00	0,00	0,60	3,60	9,80	0,60	3,60	9,80	0,60	3,60	9,80	0,00	1,80	0,77	3,60
	5,40	0,00	0,07	0,04	0,71	1,07	0,71	1,07	3,60	5,40	0,00	92,91								
1	0,00	0,00	0,00	0,80	0,53	0,60	0,01	1,63	0,00	0,00	0,13	0,07	0,00	0,00	0,60	0,26	0,60	0,26	0,00	1,80
	1,20	3,27	1,40	0,53	0,80	0,00	0,00	16,20	1,20	0,60	16,20	1,20	0,60	16,20	1,20	0,60	0,00	3,27	1,40	0,53
	0,80	0,00	1,80	1,20	0,53	0,80	0,53	0,80	0,53	0,80	0,00	81,49								

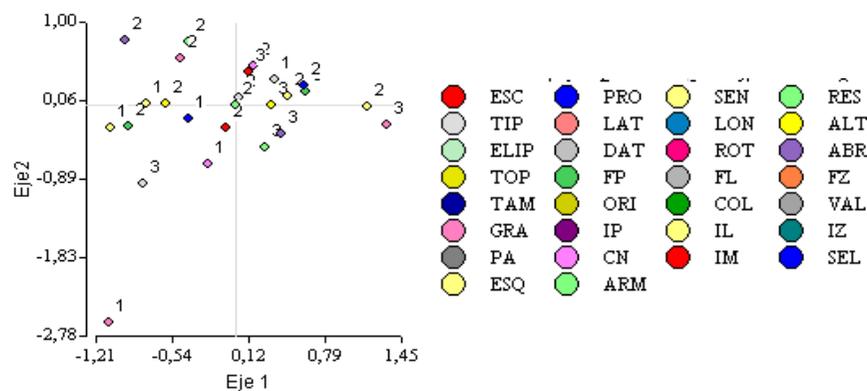
2	0,00	0,00	0,00	2,13	1,42	0,04	0,05	0,02	0,00	0,00	0,15	0,08	0,00	0,00	1,60	0,69	1,60	0,69	0,00	0,30
	0,20	0,04	0,02	1,09	1,63	0,00	0,00	1,20	3,20	3,60	1,20	3,20	3,60	1,20	3,20	3,60	0,00	0,04	0,02	1,09
	1,63	0,00	0,13	0,09	0,09	0,13	0,09	0,13	1,09	1,63	0,00	41,94								
3	0,00	0,00	0,00	2,40	1,60	0,02	0,15	0,90	0,00	0,00	0,58	0,31	0,00	0,00	1,80	0,77	1,80	0,77	0,00	2,40
	1,60	1,80	0,77	3,60	5,40	0,00	0,00	0,60	3,60	9,80	0,60	3,60	9,80	0,60	3,60	9,80	0,00	1,80	0,77	3,60
	5,40	0,00	0,07	0,04	0,71	1,07	0,71	1,07	3,60	5,40	0,00	92,91								
1	0,00	0,00	0,00	0,80	0,53	0,60	0,01	1,63	0,00	0,00	0,13	0,07	0,00	0,00	0,60	0,26	0,60	0,26	0,00	1,80
	1,20	3,27	1,40	0,53	0,80	0,00	0,00	16,20	1,20	0,60	16,20	1,20	0,60	16,20	1,20	0,60	0,00	3,27	1,40	0,53
	0,80	0,00	1,80	1,20	0,53	0,80	0,53	0,80	0,53	0,80	0,00	81,49								
2	0,00	0,00	0,00	2,13	1,42	0,04	0,05	0,02	0,00	0,00	0,15	0,08	0,00	0,00	1,60	0,69	1,60	0,69	0,00	0,30
	0,20	0,04	0,02	1,09	1,63	0,00	0,00	1,20	3,20	3,60	1,20	3,20	3,60	1,20	3,20	3,60	0,00	0,04	0,02	1,09
	1,63	0,00	0,13	0,09	0,09	0,13	0,09	0,13	1,09	1,63	0,00	41,94								
3	0,00	0,00	0,00	2,40	1,60	0,02	0,15	0,90	0,00	0,00	0,58	0,31	0,00	0,00	1,80	0,77	1,80	0,77	0,00	2,40
	1,60	1,80	0,77	3,60	5,40	0,00	0,00	0,60	3,60	9,80	0,60	3,60	9,80	0,60	3,60	9,80	0,00	1,80	0,77	3,60
	5,40	0,00	0,07	0,04	0,71	1,07	0,71	1,07	3,60	5,40	0,00	92,91								
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,15	0,10	1,80	0,88	0,01	0,00	0,00	0,39	0,21	0,00	0,00	2,69	1,15	2,69	1,15	0,00	5,40
	3,60	9,80	4,20	1,60	2,40	0,00	0,00	3,27	0,04	1,80	3,27	0,04	1,80	3,27	0,04	1,80	0,00	9,80	4,20	1,60
	2,40	0,00	0,07	0,04	0,71	1,07	0,04	0,07	1,60	2,40	0,00	77,55								
2	0,00	0,00	0,00	0,06	0,04	0,77	0,38	4,8E-03	0,00	0,17	0,09	0,00	0,00	1,15	0,49	1,15	0,49	0,00	2,31	
	1,54	4,20	1,80	0,69	1,03	0,00	0,00	1,40	0,02	0,77	1,40	0,02	0,77	1,40	0,02	0,77	0,00	4,20	1,80	0,69
	1,03	0,00	0,03	0,02	0,30	0,46	0,02	0,03	0,69	1,03	0,00	33,23								
1	0,00	0,00	0,00	0,30	0,20	0,10	0,05	0,80	0,00	0,00	0,77	0,42	0,00	0,00	1,60	0,69	1,60	0,69	0,00	2,13
	1,42	1,60	0,69	3,20	4,80	0,00	0,00	0,53	1,09	3,60	0,53	1,09	3,60	0,53	1,09	3,60	0,00	1,60	0,69	3,20
	4,80	0,00	0,30	0,20	0,09	0,13	1,09	1,63	3,20	4,80	0,00	58,45								
2	0,00	0,00	0,00	0,45	0,30	0,15	0,08	1,20	0,00	0,00	1,16	0,62	0,00	0,00	2,40	1,03	2,40	1,03	0,00	3,20
	2,13	2,40	1,03	4,80	7,20	0,00	0,00	0,80	1,63	5,40	0,80	1,63	5,40	0,80	1,63	5,40	0,00	2,40	1,03	4,80
	7,20	0,00	0,45	0,30	0,13	0,20	1,63	2,45	4,80	7,20	0,00	87,68								
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	1,51	1,01	0,07	0,45	2,70	0,00	0,00	0,51	0,28	0,00	0,00	0,07	0,03	0,07	0,03	0,00	0,20
	0,13	0,07	0,03	0,30	0,45	0,00	0,00	1,80	0,13	0,07	1,80	0,13	0,07	1,80	0,13	0,07	0,00	0,07	0,03	0,30
	0,45	0,00	7,20	4,80	2,13	3,20	0,30	0,45	0,30	0,45	0,00	33,57								
2	0,00	0,00	0,00	1,01	0,67	0,04	0,30	1,80	0,00	0,00	0,34	0,18	0,00	0,00	0,04	0,02	0,04	0,02	0,00	0,13
	0,09	0,04	0,02	0,20	0,30	0,00	0,00	1,20	0,09	0,04	1,20	0,09	0,04	1,20	0,09	0,04	0,00	0,04	0,02	0,20
	0,30	0,00	4,80	3,20	1,42	2,13	0,20	0,30	0,20	0,30	0,00	22,38								
2	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,04	0,39	0,80	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,71	0,30	0,71	0,30	0,00	0,13
	0,09	0,71	0,30	0,09	0,13	0,00	0,00	0,53	0,09	0,71	0,53	0,09	0,71	0,53	0,09	0,71	0,00	0,71	0,30	0,09
	0,13	0,00	2,13	1,42	3,20	4,80	0,09	0,13	0,09	0,13	0,00	21,99								
3	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,07	0,58	1,20	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	1,07	0,46	1,07	0,46	0,00	0,20
	0,13	1,07	0,46	0,13	0,20	0,00	0,00	0,80	0,13	1,07	0,80	0,13	1,07	0,80	0,13	1,07	0,00	1,07	0,46	0,20
	0,20	0,00	3,20	2,13	4,80	7,20	0,13	0,20	0,13	0,20	0,00	32,99								

1	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,04	0,39	0,80	0,00	0,00	0,77	0,42	0,00	0,00	0,04	0,02	0,04	0,02	0,00	0,30
	0,20	0,04	0,02	1,09	1,63	0,00	0,00	0,53	0,09	0,71	0,53	0,09	0,71	0,53	0,09	0,71	0,00	0,04	0,02	1,09
	1,63	0,00	0,30	0,20	0,09	0,13	3,20	4,80	1,09	1,63	0,00	24,08								
2	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,07	0,58	1,20	0,00	0,00	1,16	0,62	0,00	0,00	0,07	0,03	0,07	0,03	0,00	0,45
	0,30	0,07	0,03	1,63	2,45	0,00	0,00	0,80	0,13	1,07	0,80	0,13	1,07	0,80	0,13	1,07	0,00	0,07	0,03	1,63
	2,45	0,00	0,45	0,30	0,13	0,20	4,80	7,20	1,63	2,45	0,00	36,11								
1	0,00	0,00	0,00	0,30	0,20	0,10	0,05	0,80	0,00	0,00	0,77	0,42	0,00	0,00	1,60	0,69	1,60	0,69	0,00	2,13
	1,42	1,60	0,69	3,20	4,80	0,00	0,00	0,53	1,09	3,60	0,53	1,09	3,60	0,53	1,09	3,60	0,00	1,60	0,69	3,20
	4,80	0,00	0,30	0,20	0,09	0,13	1,09	1,63	3,20	4,80	0,00	58,45								
2	0,00	0,00	0,00	0,45	0,30	0,15	0,08	1,20	0,00	0,00	1,16	0,62	0,00	0,00	2,40	1,03	2,40	1,03	0,00	3,20
	2,13	2,40	1,03	4,80	7,20	0,00	0,00	0,80	1,63	5,40	0,80	1,63	5,40	0,80	1,63	5,40	0,00	2,40	1,03	4,80
	7,20	0,00	0,45	0,30	0,13	0,20	1,63	2,45	4,80	7,20	0,00	87,68								
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	0,00	0,00	0,00	37,76	25,18	24,86	16,22	43,44	0,00	0,00	32,11	17,29	0,00	0,00	68,40	29,31	68,40	29,31	0,00	63,64
	42,42	77,55	33,23	58,45	87,68	0,00	0,00	81,49	41,94	92,91	81,49	41,94	92,91	81,49	41,94	92,91	0,00	77,55	33,23	58,45
	87,68	0,00	33,57	22,38	21,99	32,99	24,08	36,11	58,45	87,68	0,00	1978,43								

Representación en el plano factorial del análisis de correspondencia de los distintos atributos

Contribución a la Chi cuadrado

	Autovalor	Inercias	Chi cuadrado	(%)	% acumulado
1	0,52	0,27	762,00	38,52	38,52
2	0,38	0,14	408,28	20,64	59,15



Matriz de BURT

En columnas: ESC:PRO:SEN:RES:TIP:LAT:LON:ALT:ELIP:DAT

En filas: ESC:PRO:SEN:RES:TIP:LAT:LON:ALT:ELIP:DAT

	3	3	3	2	3	1	2	3	3	3	2	3	3	3	Total
3	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	200
3	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	200
3	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	200
2	8	8	8	8	0	3	5	0	8	8	3	5	8	8	80
3	12	12	12	0	12	3	6	3	12	12	4	8	12	12	120
1	6	6	6	3	3	6	0	0	6	6	2	4	6	6	60
2	11	11	11	5	6	0	11	0	11	11	3	8	11	11	110
3	3	3	3	0	3	0	0	3	3	3	2	1	3	3	30
3	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	200
3	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	200
2	7	7	7	3	4	2	3	2	7	7	7	0	7	7	70
3	13	13	13	5	8	4	8	1	13	13	0	13	13	13	130
3	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	200
3	20	20	20	8	12	6	11	3	20	20	7	13	20	20	200
Total	200	200	200	80	120	60	110	30	200	200	70	130	200	200	2000

Contribuciones por celda al estadístico chi-cuadrado

En columnas: ESC:PRO:SEN:RES:TIP:LAT:LON:ALT:ELIP:DAT

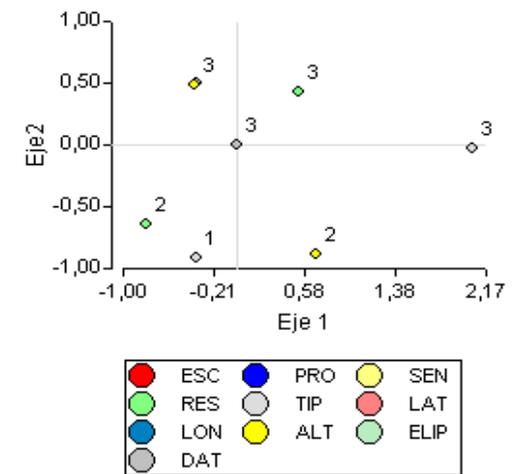
En filas: ESC:PRO:SEN:RES:TIP:LAT:LON:ALT:ELIP:DAT

	3	3	3	2	3	1	2	3	3	3	2	3	3	3	Total
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	7,20	4,80	0,15	0,08	1,20	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	13,45
3	0,00	0,00	0,00	4,80	3,20	0,10	0,05	0,80	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	8,97
1	0,00	0,00	0,00	0,15	0,10	9,80	3,30	0,90	0,00	0,00	4,8E-03	2,6E-03	0,00	0,00	14,26
2	0,00	0,00	0,00	0,08	0,05	3,30	4,05	1,65	0,00	0,00	0,19	0,10	0,00	0,00	9,43
3	0,00	0,00	0,00	1,20	0,80	0,90	1,65	14,45	0,00	0,00	0,86	0,46	0,00	0,00	20,32
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	4,8E-03	0,19	0,86	0,00	0,00	8,45	4,55	0,00	0,00	14,08
3	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	2,6E-03	0,10	0,46	0,00	0,00	4,55	2,45	0,00	0,00	7,58
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	0,00	0,00	0,00	13,45	8,97	14,26	9,43	20,32	0,00	0,00	14,08	7,58	0,00	0,00	88,08

Contribución a la Chi cuadrado

	Autovalor	Inercias	Chi cuadrado	(%)	% acumulado
1	0,38	0,14	31,31	35,54	35,54
2	0,33	0,11	24,07	27,33	62,87

Representación el plano factorial del análisis de correspondencia de los atributos incluidos en el grupo de variables: condiciones técnicas.



Matriz de BURT

En columnas: ROT:ABR:TOP:FP:FL:FZ:TAM:ORI:COL:VAL:GRA:IP:IL:IZ:PA:CN:IM

En filas: ROT:ABR:TOP:FP:FL:FZ:TAM:ORI:COL:VAL:GRA:IP:IL:IZ:PA:CN:IM

	2	3	2	3	2	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1
	2	3	2	1	2	1	2	2	1	2	2	3	Total							
2	6	0	6	0	6	4	2	4	2	6	0	6	6	0	6	0	0	6	0	0
	6	0	6	4	2	6	0	6	2	4	2	4	102							
3	0	14	0	14	14	4	10	2	12	6	8	14	14	2	6	6	2	6	6	2
	6	6	14	2	12	6	8	14	6	8	10	4	238							
2	6	0	6	0	6	4	2	4	2	6	0	6	6	0	6	0	0	6	0	0
	6	0	6	4	2	6	0	6	2	4	2	4	102							
3	0	14	0	14	14	4	10	2	12	6	8	14	14	2	6	6	2	6	6	2
	6	6	14	2	12	6	8	14	6	8	10	4	238							
2	6	14	6	14	20	8	12	6	14	12	8	20	20	2	12	6	2	12	6	2
	12	6	20	6	14	12	8	20	8	12	12	8	340							
2	4	4	4	4	8	8	0	6	2	8	0	8	8	2	6	0	2	6	0	2
	6	0	8	6	2	8	0	8	4	4	4	4	136							
3	2	10	2	10	12	0	12	0	12	4	8	12	12	0	6	6	0	6	6	0
	6	6	12	0	12	4	8	12	4	8	8	4	204							
1	4	2	4	2	6	6	0	6	0	6	0	6	6	2	4	0	2	4	0	2
	4	0	6	6	0	6	0	6	2	4	2	4	102							
2	2	12	2	12	14	2	12	0	14	6	8	14	14	0	8	6	0	8	6	0
	8	6	14	0	14	6	8	14	6	8	10	4	238							
1	6	6	6	6	12	8	4	6	6	12	0	12	12	2	10	0	2	10	0	2
	10	0	12	6	6	12	0	12	6	6	8	4	204							
2	0	8	0	8	8	0	8	0	8	0	8	8	8	0	2	6	0	2	6	0
	2	6	8	0	8	0	8	8	2	6	4	4	136							
3	6	14	6	14	20	8	12	6	14	12	8	20	20	2	12	6	2	12	6	2
	12	6	20	6	14	12	8	20	8	12	12	8	340							
3	6	14	6	14	20	8	12	6	14	12	8	20	20	2	12	6	2	12	6	2
	12	6	20	6	14	12	8	20	8	12	12	8	340							
1	0	2	0	2	2	2	0	2	0	2	0	2	2	2	0	0	2	0	0	2
	0	0	2	2	0	2	0	2	2	0	2	0	34							
2	6	6	6	6	12	6	6	4	8	10	2	12	12	0	12	0	0	12	0	0
	12	0	12	4	8	10	2	12	4	8	8	4	204							
3	0	6	0	6	6	0	6	0	6	0	6	6	6	0	0	6	0	0	6	0
	0	6	6	0	6	0	6	6	2	4	2	4	102							
1	0	2	0	2	2	2	0	2	0	2	0	2	2	2	0	0	2	0	0	2
	0	0	2	2	0	2	0	2	2	0	2	0	34							
2	6	6	6	6	12	6	6	4	8	10	2	12	12	0	12	0	0	12	0	0
	12	0	12	4	8	10	2	12	4	8	8	4	204							
3	0	6	0	6	6	0	6	0	6	0	6	6	6	0	0	6	0	0	6	0
	0	6	6	0	6	0	6	6	2	4	2	4	102							
1	0	2	0	2	2	2	0	2	0	2	0	2	2	2	0	0	2	0	0	2
	0	0	2	2	0	2	0	2	2	0	2	0	34							
2	6	6	6	6	12	6	6	4	8	10	2	12	12	0	12	0	0	12	0	0
	12	0	12	4	8	10	2	12	4	8	8	4	204							
3	0	6	0	6	6	0	6	0	6	0	6	6	6	0	0	6	0	0	6	0
	0	6	6	0	6	0	6	6	2	4	2	4	102							

1	0	2	0	2	2	2	0	2	0	2	0	2	2	2	0	0	2	0	0	2
	0	0	2	2	0	2	0	2	2	0	2	0	34							
2	6	6	6	6	12	6	6	4	8	10	2	12	12	0	12	0	0	12	0	0
	12	0	12	4	8	10	2	12	4	8	8	4	204							
3	0	6	0	6	6	0	6	0	6	0	6	6	6	0	0	6	0	0	6	0
	0	6	6	0	6	0	6	6	2	4	2	4	102							
2	6	14	6	14	20	8	12	6	14	12	8	20	20	2	12	6	2	12	6	2
	12	6	20	6	14	12	8	20	8	12	12	8	340							
1	4	2	4	2	6	6	0	6	0	6	0	6	6	2	4	0	2	4	0	2
	4	0	6	6	0	6	0	6	2	4	2	4	102							
2	2	12	2	12	14	2	12	0	14	6	8	14	14	0	8	6	0	8	6	0
	8	6	14	0	14	6	8	14	6	8	10	4	238							
1	6	6	6	6	12	8	4	6	6	12	0	12	12	2	10	0	2	10	0	2
	10	0	12	6	6	12	0	12	6	6	8	4	204							
2	0	8	0	8	8	0	8	0	8	0	8	8	8	0	2	6	0	2	6	0
	2	6	8	0	8	0	8	8	2	6	4	4	136							
2	6	14	6	14	20	8	12	6	14	12	8	20	20	2	12	6	2	12	6	2
	12	6	20	6	14	12	8	20	8	12	12	8	340							
1	2	6	2	6	8	4	4	2	6	6	2	8	8	2	4	2	2	4	2	2
	4	2	8	2	6	6	2	8	8	0	8	0	136							
2	4	8	4	8	12	4	8	4	8	6	6	12	12	0	8	4	0	8	4	0
	8	4	12	4	8	6	6	12	0	12	4	8	204							
2	2	10	2	10	12	4	8	2	10	8	4	12	12	2	8	2	2	8	2	2
	8	2	12	2	10	8	4	12	8	4	12	0	204							
3	4	4	4	4	8	4	4	4	4	4	4	8	8	0	4	4	0	4	4	0
	4	4	8	4	4	4	4	8	0	8	0	8	136							
Total	102	238	102	238	340	136	204	102	238	204	136	340	340	34	204	102	34	204	102	34
	204	102	340	102	238	204	136	340	136	204	204	136	5780							

Contribuciones por celda al estadístico chi-cuadrado

En columnas: ROT:ABR:TOP:FP:FL:FZ:TAM:ORI:COL:VAL:GRA:IP:IL:IZ:PA:CN:IM

En filas: ROT:ABR:TOP:FP:FL:FZ:TAM:ORI:COL:VAL:GRA:IP:IL:IZ:PA:CN:IM

	2	3	2	3	2	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1
	2	3	2	1	2	1	2	2	1	2	2	3	Total							
2	9,80	4,20	9,80	4,20	0,00	1,07	0,71	2,69	1,15	1,60	2,40	0,00	0,00	0,60	1,60	1,80	0,60	1,60	1,80	0,60
	1,60	1,80	0,00	2,69	1,15	1,60	2,40	0,00	0,07	0,04	0,71	1,07	59,35							
3	4,20	1,80	4,20	1,80	0,00	0,46	0,30	1,15	0,49	0,69	1,03	0,00	0,00	0,26	0,69	0,77	0,26	0,69	0,77	0,26
	0,69	0,77	0,00	1,15	0,49	0,69	1,03	0,00	0,03	0,02	0,30	0,46	25,44							
2	9,80	4,20	9,80	4,20	0,00	1,07	0,71	2,69	1,15	1,60	2,40	0,00	0,00	0,60	1,60	1,80	0,60	1,60	1,80	0,60
	1,60	1,80	0,00	2,69	1,15	1,60	2,40	0,00	0,07	0,04	0,71	1,07	59,35							
3	4,20	1,80	4,20	1,80	0,00	0,46	0,30	1,15	0,49	0,69	1,03	0,00	0,00	0,26	0,69	0,77	0,26	0,69	0,77	0,26
	0,69	0,77	0,00	1,15	0,49	0,69	1,03	0,00	0,03	0,02	0,30	0,46	25,44							

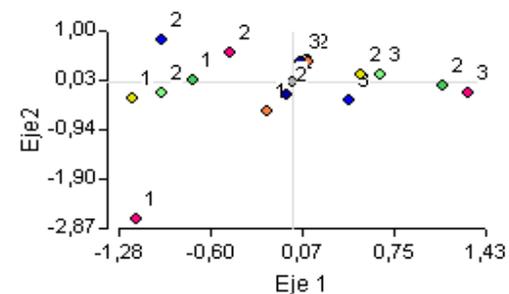
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	1,07	0,46	1,07	0,46	0,00	7,20	4,80	5,40	2,31	2,13	3,20	0,00	0,00	1,80	0,30	2,40	1,80	0,30	2,40	1,80	0,00
3	0,30	2,40	0,00	5,40	2,31	2,13	3,20	0,00	0,20	0,13	0,13	0,20	55,31	1,20	0,20	1,60	1,20	0,20	1,60	1,20	0,00
3	0,71	0,30	0,71	0,30	0,00	4,80	3,20	3,60	1,54	1,42	2,13	0,00	0,00	1,20	0,20	1,60	1,20	0,20	1,60	1,20	0,00
1	0,20	1,60	0,00	3,60	1,54	1,42	2,13	0,00	0,13	0,09	0,09	0,13	36,87	1,20	0,20	1,60	1,20	0,20	1,60	1,20	0,00
1	2,69	1,15	2,69	1,15	0,00	5,40	3,60	9,80	4,20	1,60	2,40	0,00	0,00	3,27	0,04	1,80	3,27	0,04	1,80	3,27	0,00
2	0,04	1,80	0,00	9,80	4,20	1,60	2,40	0,00	0,07	0,04	0,71	1,07	69,90	1,40	0,02	0,77	1,40	0,02	0,77	1,40	0,00
2	1,15	0,49	1,15	0,49	0,00	2,31	1,54	4,20	1,80	0,69	1,03	0,00	0,00	1,40	0,02	0,77	1,40	0,02	0,77	1,40	0,00
1	0,02	0,77	0,00	4,20	1,80	0,69	1,03	0,00	0,03	0,02	0,30	0,46	29,96	1,40	0,02	0,77	1,40	0,02	0,77	1,40	0,00
1	1,60	0,69	1,60	0,69	0,00	2,13	1,42	1,60	0,69	3,20	4,80	0,00	0,00	0,53	1,09	3,60	0,53	1,09	3,60	0,53	0,00
2	1,09	3,60	0,00	1,60	0,69	3,20	4,80	0,00	0,30	0,20	0,09	0,13	45,09	0,80	1,63	5,40	0,80	1,63	5,40	0,80	0,00
2	2,40	1,03	2,40	1,03	0,00	3,20	2,13	2,40	1,03	4,80	7,20	0,00	0,00	0,80	1,63	5,40	0,80	1,63	5,40	0,80	0,00
3	1,63	5,40	0,00	2,40	1,03	4,80	7,20	0,00	0,45	0,30	0,13	0,20	67,63	0,80	1,63	5,40	0,80	1,63	5,40	0,80	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,60	0,26	0,60	0,26	0,00	1,80	1,20	3,27	1,40	0,53	0,80	0,00	0,00	16,20	1,20	0,60	16,20	1,20	0,60	16,20	0,00
2	1,20	0,60	0,00	3,27	1,40	0,53	0,80	0,00	1,80	1,20	0,53	0,80	75,05	1,20	3,20	3,60	1,20	3,20	3,60	1,20	0,00
2	1,60	0,69	1,60	0,69	0,00	0,30	0,20	0,04	0,02	1,09	1,63	0,00	0,00	1,20	3,20	3,60	1,20	3,20	3,60	1,20	0,00
3	3,20	3,60	0,00	0,04	0,02	1,09	1,63	0,00	0,13	0,09	0,09	0,13	35,09	0,60	3,60	9,80	0,60	3,60	9,80	0,60	0,00
3	1,80	0,77	1,80	0,77	0,00	2,40	1,60	1,80	0,77	3,60	5,40	0,00	0,00	0,60	3,60	9,80	0,60	3,60	9,80	0,60	0,00
1	3,60	9,80	0,00	1,80	0,77	3,60	5,40	0,00	0,07	0,04	0,71	1,07	76,17	0,60	3,60	9,80	0,60	3,60	9,80	0,60	0,00
1	0,60	0,26	0,60	0,26	0,00	1,80	1,20	3,27	1,40	0,53	0,80	0,00	0,00	16,20	1,20	0,60	16,20	1,20	0,60	16,20	0,00
2	1,20	0,60	0,00	3,27	1,40	0,53	0,80	0,00	1,80	1,20	0,53	0,80	75,05	1,20	3,20	3,60	1,20	3,20	3,60	1,20	0,00
2	1,60	0,69	1,60	0,69	0,00	0,30	0,20	0,04	0,02	1,09	1,63	0,00	0,00	1,20	3,20	3,60	1,20	3,20	3,60	1,20	0,00
3	3,20	3,60	0,00	0,04	0,02	1,09	1,63	0,00	0,13	0,09	0,09	0,13	35,09	0,60	3,60	9,80	0,60	3,60	9,80	0,60	0,00
3	1,80	0,77	1,80	0,77	0,00	2,40	1,60	1,80	0,77	3,60	5,40	0,00	0,00	0,60	3,60	9,80	0,60	3,60	9,80	0,60	0,00
1	3,60	9,80	0,00	1,80	0,77	3,60	5,40	0,00	0,07	0,04	0,71	1,07	76,17	0,60	3,60	9,80	0,60	3,60	9,80	0,60	0,00
1	0,60	0,26	0,60	0,26	0,00	1,80	1,20	3,27	1,40	0,53	0,80	0,00	0,00	16,20	1,20	0,60	16,20	1,20	0,60	16,20	0,00
2	1,20	0,60	0,00	3,27	1,40	0,53	0,80	0,00	1,80	1,20	0,53	0,80	75,05	1,20	3,20	3,60	1,20	3,20	3,60	1,20	0,00
2	1,60	0,69	1,60	0,69	0,00	0,30	0,20	0,04	0,02	1,09	1,63	0,00	0,00	1,20	3,20	3,60	1,20	3,20	3,60	1,20	0,00
3	3,20	3,60	0,00	0,04	0,02	1,09	1,63	0,00	0,13	0,09	0,09	0,13	35,09	0,60	3,60	9,80	0,60	3,60	9,80	0,60	0,00
3	1,80	0,77	1,80	0,77	0,00	2,40	1,60	1,80	0,77	3,60	5,40	0,00	0,00	0,60	3,60	9,80	0,60	3,60	9,80	0,60	0,00
2	3,60	9,80	0,00	1,80	0,77	3,60	5,40	0,00	0,07	0,04	0,71	1,07	76,17	0,60	3,60	9,80	0,60	3,60	9,80	0,60	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	2,69	1,15	2,69	1,15	0,00	5,40	3,60	9,80	4,20	1,60	2,40	0,00	0,00	3,27	0,04	1,80	3,27	0,04	1,80	3,27	0,00
2	0,04	1,80	0,00	9,80	4,20	1,60	2,40	0,00	0,07	0,04	0,71	1,07	69,90	1,40	0,02	0,77	1,40	0,02	0,77	1,40	0,00
2	1,15	0,49	1,15	0,49	0,00	2,31	1,54	4,20	1,80	0,69	1,03	0,00	0,00	1,40	0,02	0,77	1,40	0,02	0,77	1,40	0,00
1	0,02	0,77	0,00	4,20	1,80	0,69	1,03	0,00	0,03	0,02	0,30	0,46	29,96	1,40	0,02	0,77	1,40	0,02	0,77	1,40	0,00
1	1,60	0,69	1,60	0,69	0,00	2,13	1,42	1,60	0,69	3,20	4,80	0,00	0,00	0,53	1,09	3,60	0,53	1,09	3,60	0,53	0,00
2	1,09	3,60	0,00	1,60	0,69	3,20	4,80	0,00	0,30	0,20	0,09	0,13	45,09	0,80	1,63	5,40	0,80	1,63	5,40	0,80	0,00
2	2,40	1,03	2,40	1,03	0,00	3,20	2,13	2,40	1,03	4,80	7,20	0,00	0,00	0,80	1,63	5,40	0,80	1,63	5,40	0,80	0,00
3	1,63	5,40	0,00	2,40	1,03	4,80	7,20	0,00	0,45	0,30	0,13	0,20	67,63	0,80	1,63	5,40	0,80	1,63	5,40	0,80	0,00

2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,07	0,03	0,07	0,03	0,00	0,20	0,13	0,07	0,03	0,30	0,45	0,00	0,00	1,80	0,13	0,07	1,80	0,13	0,07	1,80	
2	0,13	0,07	0,00	0,07	0,03	0,30	0,45	0,00	7,20	4,80	2,13	3,20	25,55	1,20	0,09	0,04	1,20	0,09	0,04	1,20	
2	0,04	0,02	0,04	0,02	0,00	0,13	0,09	0,04	0,02	0,20	0,30	0,00	0,00	1,20	0,09	0,04	1,20	0,09	0,04	1,20	
2	0,09	0,04	0,00	0,04	0,02	0,20	0,30	0,00	4,80	3,20	1,42	2,13	17,03	0,53	0,09	0,71	0,53	0,09	0,71	0,53	
3	0,09	0,71	0,00	0,71	0,30	0,09	0,13	0,00	2,13	1,42	3,20	4,80	20,29	0,80	0,13	1,07	0,80	0,13	1,07	0,80	
3	1,07	0,46	1,07	0,46	0,00	0,20	0,13	1,07	0,46	0,13	0,20	0,00	0,00	0,80	0,13	1,07	0,80	0,13	1,07	0,80	
Total	0,13	1,07	0,00	1,07	0,46	0,13	0,20	0,00	3,20	2,13	4,80	7,20	30,43	75,05	35,09	76,17	75,05	35,09	76,17	75,05	
	35,09	76,17	0,00	69,90	29,96	45,09	67,63	0,00	25,55	17,03	20,29	30,43	1339,14								

Representación el plano factorial del análisis de correspondencia de los atributos incluidos en el grupo de variables: sistemas de representación gráfica.

Contribución a la Chi cuadrado

	Autovalor	Inercias	Chi cuadrado	(%)	% acumulado
1	0,62	0,39	592,71	44,26	44,26
2	0,48	0,23	345,58	25,81	70,07



Matriz de BURT

En columnas: SEL:ESQ:ARM

En filas: SEL:ESQ:ARM

	1	2	1	2	2	Total
1	12	0	10	2	12	36
2	0	8	2	6	8	24
1	10	2	12	0	12	36
2	2	6	0	8	8	24
2	12	8	12	8	20	60
Total	36	24	36	24	60	180

Contribuciones por celda al estadístico chi-cuadrado

En columnas: SEL:ESQ:ARM

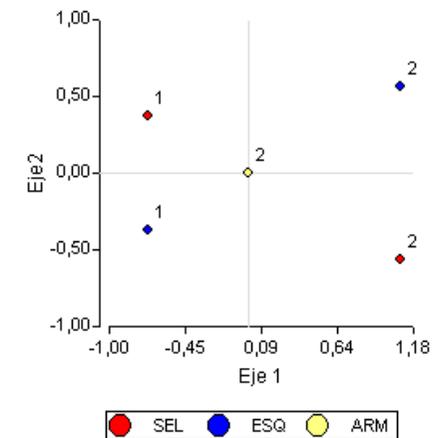
En filas: SEL:ESQ:ARM

	1	2	1	2	2	Total
1	3,20	4,80	1,09	1,63	0,00	10,72
2	4,80	7,20	1,63	2,45	0,00	16,08
1	1,09	1,63	3,20	4,80	0,00	10,72
2	1,63	2,45	4,80	7,20	0,00	16,08
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	10,72	16,08	10,72	16,08	0,00	53,61

Contribución a la Chi cuadrado

	Autovalor	Inercias	Chi cuadrado	(%)	% acumulado
1	0,73	0,53	42,44	79,17	79,17
2	0,37	0,14	11,17	20,83	100,00

Representación el plano factorial del análisis de correspondencia de los atributos incluidos en el grupo de variables: generalización cartográfica.



Análisis de coordenadas principales (EMD)

Tabla de distancias entre atributos

	ESC	PRO	SEN	RES	TIP	LAT	LON	ALT	ELIP	DAT	ROT	ABR	TOP	FP	FL	FZ	TAM	ORI	COL	VAL
	GRA	IP	IL	IZ	PA	CN	IM	SEL	ESQ	ARM										
ESC	0,00																			
PRO	0,00	0,00																		
SEN	0,00	0,00	0,00																	
RES	0,97	0,97	0,97	0,00																
TIP	0,92	0,92	0,92	0,45	0,00															
LAT	0,00	0,00	0,00	0,97	0,92	0,00														
LON	0,00	0,00	0,00	0,97	0,92	0,00	0,00													
ALT	1,00	1,00	1,00	0,22	0,39	1,00	1,00	0,00												
ELIP	0,00	0,00	0,00	0,97	0,92	0,00	0,00	1,00	0,00											
DAT	0,00	0,00	0,00	0,97	0,92	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00										
ROT	1,00	1,00	1,00	0,22	0,39	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00									
ABR	1,00	1,00	1,00	0,22	0,39	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00								
TOP	0,00	0,00	0,00	0,97	0,92	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00							
FP	1,00	1,00	1,00	0,22	0,39	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00						
FL	1,00	1,00	1,00	0,22	0,39	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00					
FZ	1,00	1,00	1,00	0,22	0,39	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00				
TAM	0,00	0,00	0,00	0,97	0,92	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00			
ORI	0,00	0,00	0,00	0,97	0,92	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00		
COL	1,00	1,00	1,00	0,22	0,39	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	
VAL	1,00	1,00	1,00	0,22	0,39	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00

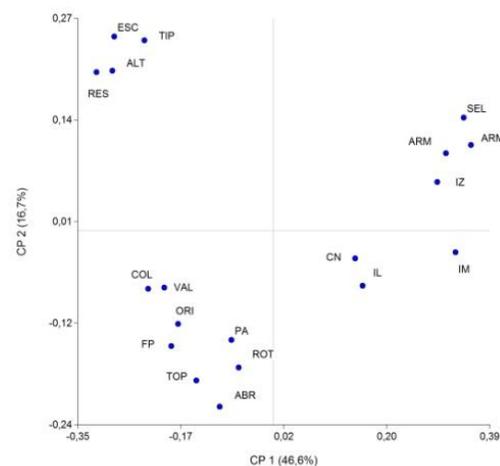
GRA	1,00	1,00	1,00	0,22	0,39	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00
IP	0,00	0,00	0,00	0,97	0,92	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00
IL	1,00	1,00	1,00	0,22	0,39	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00
IZ	1,00	1,00	1,00	0,22	0,39	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00
PA	0,00	0,00	0,00	0,97	0,92	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00
CN	0,97	0,97	0,97	0,32	0,45	0,97	0,97	0,22	0,97	0,97	0,22	0,22	0,97	0,22	0,22	0,22	0,97	0,97	0,22	0,22
IM	0,89	0,89	0,89	0,50	0,59	0,89	0,89	0,45	0,89	0,89	0,45	0,45	0,89	0,45	0,45	0,45	0,89	0,89	0,45	0,45
SEL	0,95	0,95	0,95	0,39	0,50	0,95	0,95	0,32	0,95	0,95	0,32	0,32	0,95	0,32	0,32	0,32	0,95	0,95	0,32	0,32
ESQ	1,00	1,00	1,00	0,22	0,39	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00
ARM	0,00	0,00	0,00	0,97	0,92	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,97	0,89	0,95	1,00	0,00										

Representación en los primeros ejes del plano factorial generado por el Análisis de Coordenadas Principales de la matriz de distancias entre atributos obtenida a partir del coeficiente de similitud por empates simples.

Distancia: (Simple Matching (sqrt(1-S)))

Autovalores			
Lambda	Valor	Proporción	Prop Acum
1	6,97	0,94	0,94
2	0,22	0,03	0,97
3	0,11	0,01	0,98

29 Autovalores no mostrados



Procrustes generalizado

Rho	
Coefficiente	Valor
Grupo1	1,000
Grupo2	1,000

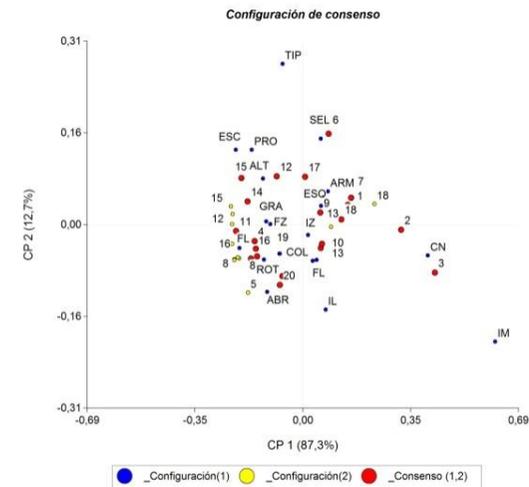
Autovalores			
Lambda	Valor	Proporción	Prop Acum
1	0,587	0,873	0,873
2	0,086	0,127	1,000
3	1,2E-04	1,8E-04	1,000
4	2,5E-05	3,7E-05	1,000

Cuadro de Análisis de la Varianza				
Sumas de cuadrados dentro por caso				
	Consenso	residuo	Total	Prop Cons
1	0,044	0,015	0,059	0,750
2	0,200	0,019	0,219	0,915
3	0,374	0,103	0,477	0,784
4	0,049	0,007	0,056	0,880
5	0,024	0,026	0,050	0,482
6	0,062	0,072	0,134	0,461
7	0,053	0,011	0,064	0,821
8	0,062	0,004	0,066	0,945
9	0,007	0,061	0,068	0,106

10	0,010	0,071	0,081	0,123
11	0,092	0,002	0,094	0,979
12	0,028	0,048	0,076	0,363
13	0,010	0,003	0,013	0,736
14	0,066	0,008	0,074	0,893
15	0,091	0,007	0,098	0,929
16	0,049	0,012	0,061	0,807
17	0,013	0,104	0,117	0,114
18	0,031	0,024	0,055	0,559
19	0,049	0,011	0,060	0,820
20	0,032	0,047	0,079	0,406
Total	1,346	0,654	2,000	0,673

Sumas de cuadrado por grupo				
	Consenso	residuo	Total	Prop Cons
Grupo1	0,673	0,327	1,000	0,673
Grupo2	0,673	0,327	1,000	0,673
Total	1,346	0,654	2,000	0,673

Representación de las configuraciones en los primeros ejes del plano factorial generado por el Análisis de Procrusto



Nueva Matriz de datos cualitativos

	CT	MT	ESC	VVR	IM	GC
OBS1	3	2	3	2	2	2
OBS2	3	2	3	2	2	1
OBS3	3	3	3	2	2	2
OBS4	3	2	3	3	3	2
OBS5	3	2	2	2	3	1
OBS6	3	2	2	2	2	1
OBS7	3	2	2	2	2	1
OBS8	3	3	2	1	2	1
OBS9	3	3	3	3	3	2
OBS10	3	2	2	1	3	1
OBS11	3	2	2	2	2	2
OBS12	3	2	2	1	2	1
OBS13	3	3	3	3	2	2
OBS14	3	3	3	3	3	2
OBS15	3	2	2	2	3	1
OBS16	3	3	2	1	2	1
OBS17	3	3	2	1	2	1
OBS18	3	3	2	1	2	1
OBS19	3	3	3	2	3	2
OBS20	3	3	3	3	3	2

Correlación. Distancias entre atributos. Análisis de conglomerados

Tabla de distancias entre atributos (obtenida a partir del coeficiente de similitud por empates simples)

	CT	MT	ESC	VVR	IM	GC
CT	0,00					
MT	0,50	0,00				
ESC	0,55	0,35	0,00			
VVR	0,30	0,60	0,25	0,00		
IM	0,60	0,50	0,35	0,40	0,00	
GC	0,55	0,35	0,10	0,25	0,35	0,00

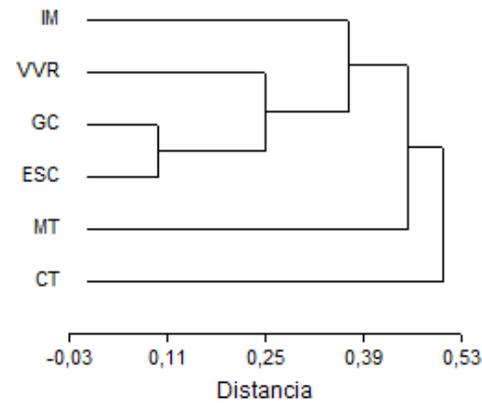
Encadenamiento promedio (average linkage)

Distancia: Simple Matching

Variables estandarizadas

nodo1	nodo2	distancia
ESC	GC	0,10
ESC	VVR	0,25
ESC	IM	0,37
MT	ESC	0,45
CT	MT	0,50

Dendograma resultante del algoritmo “encadenamiento promedio” a la aplicando matriz de distancias obtenida a partir del coeficiente de similitud por empates simples



Análisis de correspondencias

Matriz de BURT

En columnas: CT:MT:ESC:VVR:IM:GC

En filas: CT:MT:ESC:VVR:IM:GC

	3	2	3	2	3	1	2	3	2	3	1	2	Total
3	20	10	10	11	9	6	9	5	12	8	11	9	120
2	10	10	0	7	3	2	7	1	6	4	7	3	60
3	10	0	10	4	6	4	2	4	6	4	4	6	60
2	11	7	4	11	0	6	5	0	8	3	10	1	66
3	9	3	6	0	9	0	4	5	4	5	1	8	54
1	6	2	4	6	0	6	0	0	5	1	6	0	36
2	9	7	2	5	4	0	9	0	6	3	5	4	54
3	5	1	4	0	5	0	0	5	1	4	0	5	30
2	12	6	6	8	4	5	6	1	12	0	8	4	72
3	8	4	4	3	5	1	3	4	0	8	3	5	48
1	11	7	4	10	1	6	5	0	8	3	11	0	66
2	9	3	6	1	8	0	4	5	4	5	0	9	54
Total	120	60	60	66	54	36	54	30	72	48	66	54	720

Contribuciones por celda al estadístico chi-cuadrado

En columnas: CT:MT:ESC:VVR:IM:GC

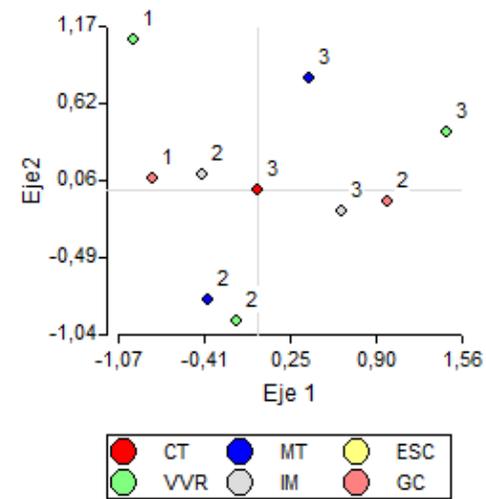
En filas: CT:MT:ESC:VVR:IM:GC

	3	2	3	2	3	1	2	3	2	3	1	2	Total
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	5,00	5,00	0,41	0,50	0,33	1,39	0,90	0,00	0,00	0,41	0,50	14,44
3	0,00	5,00	5,00	0,41	0,50	0,33	1,39	0,90	0,00	0,00	0,41	0,50	14,44
2	0,00	0,41	0,41	4,05	4,95	2,21	5,1E-04	2,75	0,30	0,45	2,58	3,15	21,25
3	0,00	0,50	0,50	4,95	6,05	2,70	6,2E-04	3,36	0,36	0,54	3,15	3,85	25,97
1	0,00	0,33	0,33	2,21	2,70	9,80	2,70	1,50	0,54	0,82	2,21	2,70	25,85
2	0,00	1,39	1,39	5,1E-04	6,2E-04	2,70	6,05	2,25	0,07	0,10	5,1E-04	6,2E-04	13,95
3	0,00	0,90	0,90	2,75	3,36	1,50	2,25	11,25	1,33	2,00	2,75	3,36	32,36
2	0,00	0,00	0,00	0,30	0,36	0,54	0,07	1,33	3,20	4,80	0,30	0,36	11,26
3	0,00	0,00	0,00	0,45	0,54	0,82	0,10	2,00	4,80	7,20	0,45	0,54	16,90
1	0,00	0,41	0,41	2,58	3,15	2,21	5,1E-04	2,75	0,30	0,45	4,05	4,95	21,25
2	0,00	0,50	0,50	3,15	3,85	2,70	6,2E-04	3,36	0,36	0,54	4,95	6,05	25,97
Total	0,00	14,44	14,44	21,25	25,97	25,85	13,95	32,36	11,26	16,90	21,25	25,97	223,64

Contribución a la Chi cuadrado

Autovalor	Inercias	Chi cuadrado	(%)	% acumulado
1	0,69	0,47	105,45	47,15
2	0,49	0,24	53,92	24,11

Representación el plano factorial del análisis de correspondencia de los distintos atributos



Estadística Descriptiva. Variables Geológicas

Tabla: Cantidad de variables geológicas diferentes distinguidas por cada observador

	LIT	TEC	HIDRO	INFRA
OBS1	4	4	4	6
OBS2	5	4	5	6
OBS3	4	3	5	5
OBS4	4	3	4	7
OBS5	4	3	5	5
OBS6	4	4	4	6
OBS7	5	4	4	6
OBS8	4	4	4	7
OBS9	4	3	5	5
OBS10	4	3	4	6

Diseño de experimentos. Análisis de la varianza (ANAVA)

Tabla de respuesta en minutos al reconocimiento de distintas clases de litología según las variables visuales en estudio empleadas

TRATAMIENTOS	OBS1	OBS2	OBS3	OBS4	OBS5	OBS6	OBS7	OBS8	OBS9	OBS10
T1 -COLOR	0,65	0,55	0,52	0,62	0,57	0,52	0,53	0,49	0,56	0,57
T2 -VALOR	1,71	1,84	1,69	1,89	1,87	1,92	1,98	1,87	1,95	1,86
T3-GRANO	0,79	0,86	0,87	0,74	0,98	0,86	0,82	0,79	0,94	0,88
T4- ORIENTACIÓN	0,98	0,99	0,88	0,97	0,86	0,94	0,96	0,87	0,99	0,94

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	10	5,58	0,558	0,00232889
Fila 2	10	18,58	1,858	0,00877333
Fila 3	10	8,53	0,853	0,00517889
Fila 4	10	9,38	0,938	0,00252889

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	9,4626875	3	3,15422917	670,755804	1,2411E-31	2,866265557
Dentro de los grupos	0,16929	36	0,0047025			
Total	9,6319775	39				

Tabla de residuos correspondientes al modelo

TRATAMIENTO	RESIDUOS									
COLOR	0,092	-0,01	-0,04	0,062	0,012	-0,04	-0,03	-0,07	0,002	0,012
TONALIDAD	-0,15	-0,02	-0,17	0,032	0,012	0,062	0,122	0,012	0,092	0,002
TEXTURA	-0,06	0,007	0,017	-0,11	0,127	0,007	-0,03	-0,06	0,087	0,027
ORIENTACIÓN	0,042	0,052	-0,06	0,032	-0,08	0,002	0,022	-0,07	0,052	0,002

Tabla de residuos ordenados y se probabilidad normal

RES. ORD.	PROB. NORMAL						
	-0,0655	-0,038	-0,012	0,007	0,005	0,042	0,016
-0,148	-0,05765	-0,033	-0,012	0,012	0,007	0,052	0,0199
-0,113	-0,0438	-0,028	-0,01	0,012	0,007	0,052	0,0199
-0,078	-0,0299	-0,018	-0,008	0,012	0,007	0,062	0,0239
-0,068	-0,0259	-0,008	-0,006	0,012	0,007	0,062	0,0239
-0,068	-0,0259	0,002	0,004	0,017	0,0075	0,087	0,0359
-0,063	-0,0239	0,002	0,004	0,022	0,009	0,092	0,03785
-0,063	-0,0239	0,002	0,004	0,027	0,012	0,092	0,03785
-0,058	-0,0219	0,002	0,004	0,032	0,013	0,122	0,0478
,038	-0,012	0,007	0,005	0,032	0,013	0,127	0,0517

Gráfico de dispersión de los residuos

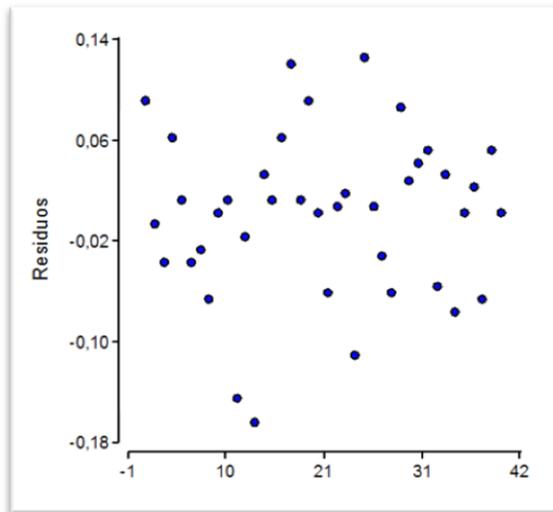


Gráfico para la determinación de la normalidad de los residuos

