

La calidad técnica en la cartografía sobre la Faja Volcánica Mexicana: un análisis en tesis y publicaciones de geociencias de la UNAM para el periodo 1980–2000

Gabriel Origel-Gutiérrez^{1,*} y Enrique Cabral-Cano²

¹ Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México,
Campus Juriquilla, Apartado Postal 1-742, 76230 Querétaro, Qro., México

² Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México,
Cd. Universitaria, 04510 México D.F., México.

* gorigel@geociencias.unam.mx

RESUMEN

La Faja Volcánica Mexicana es una región de interés, debido a la interacción única de los procesos geodinámicos que ocurren en ella en combinación con la concentración de la población y sus actividades. El conocimiento sobre la Faja Volcánica Mexicana se ha incrementado a partir de la integración de mapas en diferentes escalas, desde ejemplos regionales hasta locales. Este estudio presenta una evaluación de la calidad técnica de la cartografía de la Faja Volcánica Mexicana elaborada de 1980 a 2000, en particular la incluida en tesis de licenciatura y posgrado, así como la cartografía publicada por los institutos de investigación en Ciencias de la Tierra en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Los datos se obtuvieron de una revisión bibliográfica de tesis, cartografía institucional y publicaciones periódicas. La evaluación realizada también sirvió para determinar si es factible la integración de la cartografía ya publicada creando una base de datos espaciales a partir de la digitalización de mapas impresos. Se evaluaron principalmente mapas de geología, geofísica y geomorfología, usando la Faja Volcánica Mexicana como muestra representativa de la producción cartográfica actual. La evaluación cuantitativa se llevó cabo a partir del análisis estadístico considerando una serie predefinida de atributos cartográficos, los cuales fueron agrupados en cuatro diferentes categorías: identificación, base matemática, representación y elementos especiales. Combinaciones específicas de estos elementos permitieron realizar evaluaciones básicas y rigurosas, y sirvieron como simples indicadores de la calidad técnica del documento cartográfico. El grupo de la base matemática presentó la calificación más baja. La carencia de estos elementos cartográficos representa un grave problema para la integración de bases de datos espaciales, ya que son indispensables para realizar cualquier reproyección o transformación de coordenadas, así como para efectuar su registro geográfico. En general, los mapas incluidos en las tesis tuvieron una menor calificación de calidad en comparación con la cartografía editada por los institutos. Este estudio permitió la identificación de problemas potenciales que se pueden presentar durante la digitalización de mapas, la integración de bases de datos espaciales y la producción cartográfica. Se proponen algunas medidas de solución, en especial relacionadas con el manejo de proyecciones, las cuales se pueden implementar para sistematizar tareas de procesamiento en nuevos productos cartográficos.

Palabras clave: cartografía, mapas, Faja Volcánica Mexicana, tesis, base de datos espaciales.

ABSTRACT

The Mexican Volcanic Belt (MVB) is a region of great interest, mainly due to its unique interaction of geodynamic phenomena in combination with the concentration of population and its activities. The knowledge of the MVB has increased through the integration of maps in different scales, from regional to local scale. This study presents a quality assessment of the cartography of the MVB published from 1980 to 2000. In particular, we analyzed those maps included in thesis from undergraduate and graduate levels, as well as all the cartography published by earth sciences research institutes at the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). The data were obtained from a bibliographic review of thesis, institutional cartography and journals. The assessment also served as a feasibility study for the integration of already published cartography into a spatial database derived from digitized maps. Geological, geomorphological and geophysical maps were evaluated using the MVB as a representative sample of current cartographic production. Thus, a quantitative evaluation was carried out by means of a statistical analysis and comparison against a pre-defined set of cartographic attributes, which were grouped into four different categories: identification, mathematic basis, representation and special elements. Some particular combinations of these attributes were used for basic and rigorous assessments, and served as quality indicators. The mathematic basis group showed the lowest grade. Absence of these cartographic attributes crates a serious problem for the integration of a spatial database, because they are key elements for any re-projections or coordinate transformations, as well as for its geographic registration. In general, those maps included in thesis dissertations had a lower quality grade compared to those published by research institutes. Potential problems that may be faced during map digitalization, spatial database integration, and map production are described. Finally, some solutions related to projections are proposed, which can be implemented to systematize processing task into new cartographic products.

Key words: cartography, maps, Mexican Volcanic Belt, thesis, spatial databases.

INTRODUCCIÓN

La cartografía que se elabora en las Ciencias de la Tierra es una fuente de información básica. En la actualidad, los productos cartográficos pueden ser desde una carta tradicional hasta animaciones y vistas tridimensionales generadas por computadora. Sin embargo, el uso cada vez más creciente de sistemas de cómputo para la elaboración de cartografía, aunque facilita su creación no necesariamente incrementa su calidad técnica. En consecuencia, la representación de la realidad resulta en muchos de los casos incorrecta y se expresa en formatos incompatibles, creando resultados imprecisos durante los procesos de digitalización para la integración de bases de datos espaciales. El presente trabajo se llevó a cabo como un análisis de viabilidad para integrar en un repositorio digital único la cartografía geocientífica existente en nuestro país. Se consideró como muestra a la cartografía de la Faja Volcánica Mexicana (FVM) elaborada en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), específicamente en las disciplinas de geología, geofísica y geomorfología. Se evaluó la cartografía contenida en las tesis de 1980 a 2000, realizada en las facultades de Ciencias, Filosofía y Letras (Colegio de Geografía) e Ingeniería, así como en la Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y de Posgrado del Colegio de Ciencias y Humanidades. En el análisis también se incluyó la cartografía publicada por los institutos de Geofísica, Geografía y Geología.

METODOLOGÍA

Para integrar la información cartográfica sobre la FVM se realizó una revisión detallada en las tesis y publicaciones editadas por la UNAM, las cuales están relacionadas con la elaboración o producción de materiales cartográficos en dicha zona. La búsqueda de tesis se hizo en la base de datos de la Dirección General Bibliotecas de la UNAM (<http://www.dgbiblio.unam.mx/>) y se seleccionaron aquéllas cuya zona de estudio comprendiese o estuviera ubicada dentro de la FVM. Después se identificaron las que incluían material cartográfico. Por otra parte, se definió una lista de elementos de diseño cartográfico de acuerdo a Salitchev (1979), la cual fue verificada y evaluada para cada mapa. La Tabla 1 muestra los elementos cartográficos seleccionados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tesis sobre la Faja Volcánica Mexicana

A partir de la búsqueda bibliográfica se identificaron 95 tesis, la mayoría enfocada a estudios de sitio, aunque se incluyeron algunas por hacer referencia a tópicos sobre normalización de cartografía en Ciencias de la Tierra. En una primera clasificación por disciplina se encontraron 42 tesis de Geología, 28 de Geomorfología, 19 de Geofísica y

Tabla 1. Elementos de diseño cartográfico considerados en la evaluación de cada mapa.

Elementos
<i>de identificación</i>
1. Autor(es) y año
2. Localidad o zona de estudio
3. Coordenadas extremas
3.1 Norte; 3.2. Sur; 3.3. Este; 3.4. Oeste
4. Proyecto
5. Título
<i>de la base matemática</i>
6. Escala numérica / latitud de la escala
7. Escala gráfica
8. Red de coordenadas
9. Marco
10. Proyección
10.1. Elipsoide; 10.2. Datum; 10.3. Parámetros específicos;
10.4 Red geodésica de apoyo
<i>de representación cartográfica</i>
11. Leyenda o explicación
12. Simbología convencional y gráficos de medición de
12.1 Ángulos; 12.2 Superficies; 12.3 Coordenadas;
12.4 Gradientes
13. Fuentes de información
<i>especiales</i>
14.1 Perfiles o secciones
14.2 Columna estratigráfica
14.3 Diagramas
14.4 Bloques-diagrama
14.5 Tablas
14.6 Información textual
14.7 Otro Mapa

6 de otras especialidades (Figura 1a). En la Figura 1b se muestra el número de tesis por institución, de esta forma se encontraron 41 tesis de la Facultad de Ingeniería (FI), 28 del Colegio de Geografía de la Facultad de Filosofía y Letras (CG–FFyL), así como 26 de la Facultad de Ciencias (FC) y

de la Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y de Posgrado del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH–UACPyP).

La clasificación de tesis por grado académico muestra que dos terceras partes de las tesis de la FVM son de licenciatura (Figura 1c). La agrupación por año indica que en la década de 1990, la elaboración de tesis de la FVM se incrementó más de 3 veces, llegando a representar el 76% de las tesis registradas (Figura 2).

Cartografía en tesis

Las tesis que incluyeron mapas fueron 52, las cuales se listan en el suplemento electrónico de este documento (<http://satori.geociencias.unam.mx/21-2/21-2-01.pdf>). La clasificación de estas tesis se realizó por disciplina académica (Figura 3a), las tesis de geomorfología y geología representaron más del 40% para cada disciplina y las de geofísica sólo el 13%. La clasificación por nivel académico mostró que el 68% de las tesis con cartografía fueron de licenciatura (Figura 3b). En total se evaluaron 171 mapas contenidos en 43 tesis que estuvieron disponibles en el momento de la revisión cartográfica.

Principales tipos de mapas

La Tabla 2 muestra los principales tipos de mapas realizados en las tesis evaluadas, así como la frecuencia y el porcentaje de los mismos; los mapas de tipo geológico y geomorfológico fueron muy diversos, por lo cual se agruparon por categorías genéricas. Los mapas agrupados por disciplina muestran que el 52% son de tipo geológico, 32% son de tipo geomorfológico, 6% son geofísicos y un 10 % son de carácter general o de otra categoría.

Evaluación de la cartografía incluida en tesis

La evaluación de los mapas se realizó exclusivamente con respecto a la presencia de los elementos de diseño

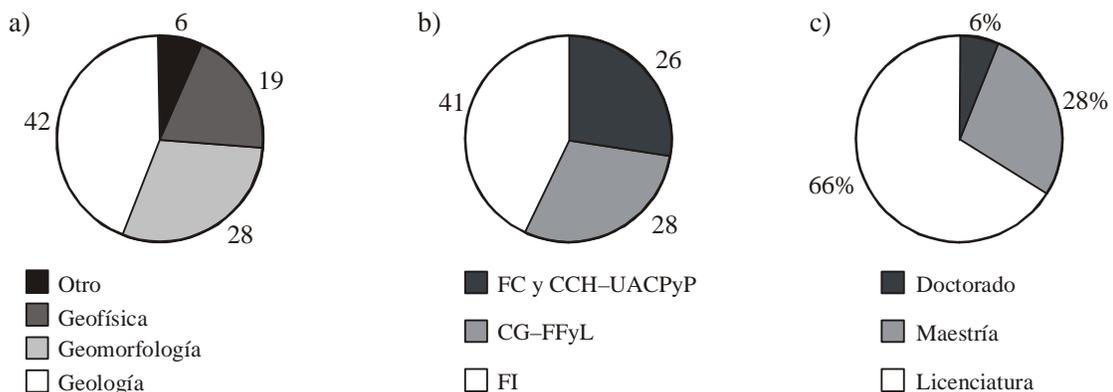


Figura 1. Tesis de la UNAM relacionadas con la Faja Volcánica Mexicana, seleccionadas por (a) disciplina, (b) institución y (c) nivel académico en porcentaje. FC: Facultad de Ciencias; CCH–UACPyP: Unidad de los Ciclos Profesionales y de Posgrado del Colegio de Ciencias y Humanidades; CG–FFyL: Colegio de Geografía de la Facultad de Filosofía y Letras; FI: Facultad de Ingeniería.

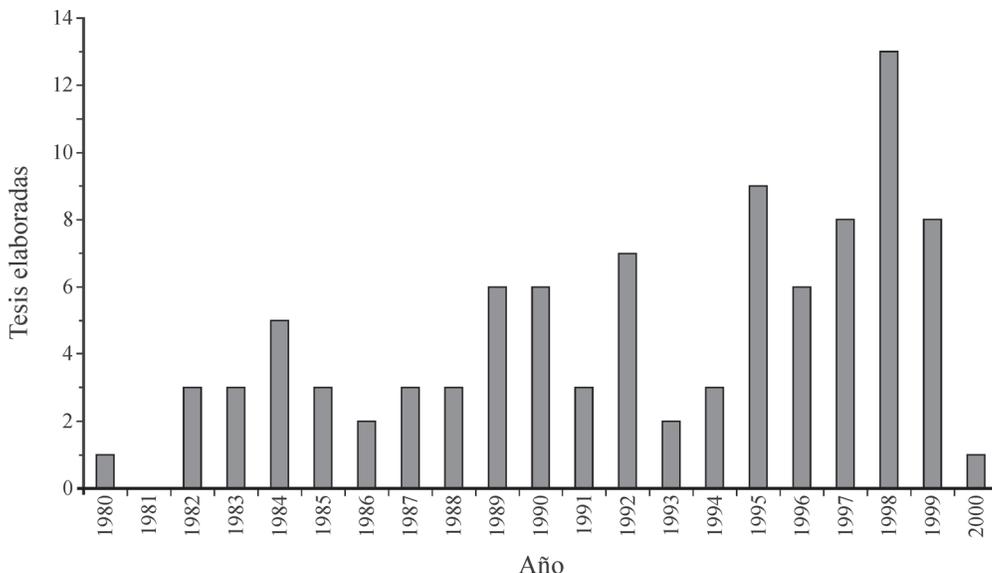


Figura 2. Producción anual de tesis de la UNAM relacionadas con la Faja Volcánica Mexicana.

cartográfico mostrados en la Tabla 1. Los elementos especiales mencionados en ésta se consideraron parte de la evaluación en función del tipo de mapa.

La Tabla 3 muestra el número y porcentaje de mapas que cuentan con cada uno de los elementos señalados, así como combinaciones entre los mismos que resultan de interés cartográfico (indicadores de calidad). Algunas de estas combinaciones son: la presencia de escalas numérica y gráfica en el mismo mapa (N y G), el diseño de la red de coordenadas (completas o indicadas al margen), el tipo de margen (externo o definido por coordenadas extremas, MDCE) y la explicación completa (leyenda con simbología convencional). La Figura 4 presenta la frecuencia absoluta de los elementos de diseño cartográfico encontrados en los mapas. A continuación se discuten los resultados mostrados en la Tabla 3 y la Figura 4 por grupo de elementos.

Elementos de identificación. La evaluación de todo

este grupo se obtuvo del valor promedio de elementos presentes, el cual fue del 95%. En general todos los mapas cuentan con el nombre del proyecto, la localidad o zona de estudio, el título del mapa, el nombre del autor y año de edición, dicha información se incluye en el cuadro de identificación y en la misma tesis. Sin embargo, para localizar en un índice las zonas cubiertas por los mapas existentes se requiere de las coordenadas extremas, las cuales únicamente se indican en el 74% de los mapas evaluados. Esto implica que más de la cuarta parte de los mapas no puedan ser encontrados en una base de datos espaciales utilizando como elemento de búsqueda a las coordenadas extremas.

Elementos de la base matemática. El promedio de elementos presentes en este grupo fue del 42%. Sin embargo, se realizaron otras dos evaluaciones más depuradas. A la primera se le denominó Evaluación Básica (EB) y estuvo

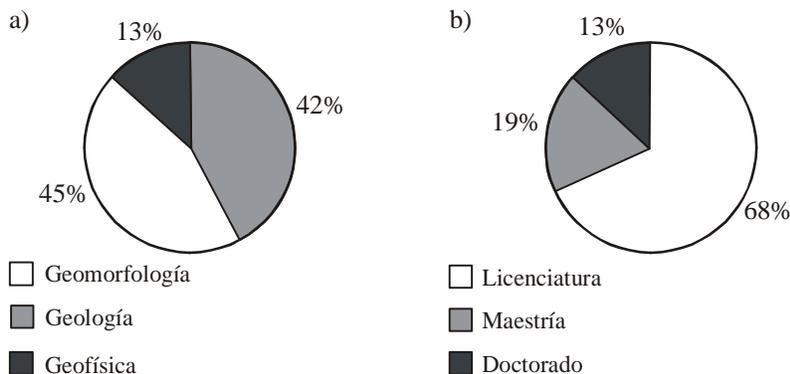


Figura 3. Tesis con cartografía de la Faja Volcánica Mexicana agrupadas por disciplina (a) y por nivel académico (b).

Tabla 2. Principales tipos de mapas publicados en tesis sobre la Faja Volcánica Mexicana. Se indica la frecuencia y el porcentaje para cada tipo de mapa en un total de 171 mapas evaluados.

Tipo de mapa	Frecuencia	%
Mapas, cartas y planos geológicos		
Geológicos	33	19.3
Litología/Isopacas/Depósitos/Flujos piroclásticos/ Flujos de lava y depósitos de oleada piroclástica	25	14.6
Tectónica/Neotectónica/Terrenos	15	8.7
Fallas/Lineamientos	6	3.5
Estructurales/Geoestructurales/Esfuerzos	6	3.5
Minas	3	1.7
Zonas de Vulcanismo	1	0.6
Total	89	52
Mapas geofísicos		
Anomalías magnéticas	1	0.6
Anomalía de Bouger	2	1.1
Aeromagnético	1	0.6
Gravimétrico de Bouger simple	1	0.6
Gravimétrico total	1	0.6
Continuación Analítica Ascendente (CAA)	2	1.1
Resultados paleomagnéticos	1	0.6
Epicentros	1	0.6
Total	10	6
Mapas geomorfológicos		
Morfométricos	26	15.3
Altimetría-hipsometría	6	
Pendientes	6	
Densidad de la disección del relieve/ densidad de talwegs	5	
Profundidad de la disección del relieve	5	
Densidad total	1	
Órdenes de corrientes	1	
Frecuencia de corrientes de 2° orden	1	
Energía del relieve	1	
Geomorfológicos	14	8.2
Geomorfológico-aplicados	5	2.9
Zonificación geomorfológico		
Amenaza por procesos geomorfológicos		
Riesgos		
Evaluación del territorio		
Morfogenéticos	3	1.7
Derivados de un DEM	3	1.7
Relieve sombreado		
Estereo-modelo		
Modelo digital del terreno		
Morfodinámicos	2	1.1
Volcanes cuaternarios	2	1.1
Total	55	32
Mapas genéricos		
Topográfico	2	1.1
Curvas de nivel	1	0.0
Hidrografía	2	1.1
Subcuencas hidrográficas	2	1.1
Sitios de muestreo	4	2.3
Otro	6	2.3
Total	17	10

integrada por la escala gráfica, la red de coordenadas, el marco y la proyección; con este método la evaluación fue de 60%. La segunda fue la Evaluación Rigurosa (ER) y estuvo integrada por la presencia de ambas escalas, la red de coordenadas completa, el marco externo y la proyección; con este método la evaluación fue de 30%. Esta categoría de elementos fue la más crítica en los mapas evaluados, en la mayoría se le resta importancia y se omite dicha información. La proyección se indica, o se puede inferir por las referencias incluidas, sólo en un 24% de los mapas. Áreas correspondientes a escalas de trabajo medias y locales aparecen en proyección y retícula UTM con datum NAD27. Únicamente dos mapas presentaron otra proyección evidente pero sin indicar la misma.

Los mapas que contienen tanto la escala gráfica como la numérica fueron sólo 31, es decir el 18%, la escala numérica se registró en 38 mapas (22%) y la gráfica en 135 (79%). Las escalas nominales más comunes fueron las mayores a 1:20,000 (para estudios geomorfológicos, vulcanológicos y mineros), las correspondientes a 1:50,000 (para estudios geológicos generales) y las menores a 1:100,000 (para estudios regionales). Aunque se encontraron mapas a escala 1:90,000 y 1:100,000, la cartografía original de los mismos se realizó a 1:50,000 y después se realizó la reducción correspondiente por técnicas fotomecánicas. De esta forma, la escala 1:50,000 se utilizó en 52% de los mapas que reportaron información al respecto. Los grupos de escalas menores a 1:100,000 y mayores a 1:50,000 representaron el 24% cada uno. La Figura 5 muestra la frecuencia de las escalas empleadas en la cartografía de la FVM.

El caneavá, o la red completa de coordenadas, más las coordenadas indicadas al margen se registraron sólo en un 58% de los mapas, a pesar de que este tipo de elementos cartográficos es muy importante para localizar cualquier sitio dentro de cada mapa. En general, al margen de los mapas se registraron coordenadas geográficas sin proyección, excepto en los relacionados con proyectos mineros, los cuales las indicaron con proyección y coordenadas UTM, o con proyección local y en coordenadas cartesianas arbitrarias. El marco de los mapas está definido en dos formas: la primera es por coordenadas extremas (43%), cuyo valor aparece en las esquinas, y la segunda por gráficos externos (40%).

Elementos de representación cartográfica. En las Ciencias de la Tierra se mantienen algunas restricciones en cuanto a la simbología y nomenclatura, como es el caso de los mapas geológicos. Sin embargo, hay gran flexibilidad en otras expresiones cartográficas, como en el caso de los mapas geomorfológicos, donde el autor puede definir sus propios criterios de representación, siempre y cuando sean consistentes.

La correcta lectura de mapas requiere entonces de elementos semánticos. En esta evaluación, los mapas con explicación completa, es decir con leyenda y simbología convencional, fueron sólo 57 (33%), con leyenda fueron 113 (66%) y con simbología fueron 91 (53%), con lo cual se definió el

Tabla 3. Elementos contenidos en mapas de tesis.

Elemento	EB	ER	Frecuencia	%
<i>Identificación</i>				
Autor y año*			171*	100*
Localidad o zona de estudio			171	100
Coordenadas extremas (CE)			127	74
Proyecto*			171*	100*
Título			170	99
		Promedio	810/855	95
<i>Base matemática</i>				
Escala numérica (N)			38	22
Escala gráfica (G)	X		136	79
Ambas escalas (N y G)		X		18
Red de coordenadas completas (RC)		X	71	42
Red de coordenadas al margen (RM)			29	17
Red de coordenadas (RC + RM)	X		100	58
Marco externo (ME)		X	79	46
Marco definido por CE (MDCE)			86	50
Marco (ME + MDCE)	X		165	96
Proyección	X	X	41	24
		Promedio	776/1710	45
<i>Representación cartográfica</i>				
Leyenda (L)			113	66
Simbología convencional (S)			91	53
Explicación completa (Ec = L y S)		X	57	33
Explicación (L + S - Ec)	X		147	86
Gráficos de medición			14	8
Fuentes de información**	X	X	65**	38**
		Promedio	487/1026	47
<i>Especiales</i>				
Perfiles o secciones, columnas estratigráficas, diagramas, bloques-diagrama, tablas, información textual, otro mapa.			41	24

* Para todos los mapas se consideró que si contaban con esta información por encontrarse en la tesis respectiva, aunque estrictamente no todos la tuvieron. ** Muchos mapas no incluyeron esta información porque el mismo autor la generó, aunque algunos ignoraron poner las referencias completas de los mapas base. EB: Evaluación básica; ER: Evaluación rigurosa; la explicación de ambas se encuentra en el texto. La X indica los elementos considerados en cada evaluación.

número final de mapas con elementos de explicación que fue de 147 (86%). Las fuentes de información se registraron en 65 mapas (38%), las referencias completas de los mapas base permitió conocer o inferir alguno de los atributos cartográficos no indicados en el mismo.

El promedio de elementos presentes en este grupo fue del 47%. Sin embargo, al igual que en el grupo de la base matemática, se realizaron las evaluaciones básica (EB) y rigurosa (ER). La primera fue del 62% y estuvo integrada por la explicación, así como por las fuentes de información. La segunda fue del 36% y en ella se prefirió utilizar la explicación completa.

Evaluación por facultad

Los mapas agrupados por facultad muestran que 44% son de la FC y del CCH-UACPyP, 33% del CG-FFyL, y 23% de la FI. Entre los elementos de diseño cartográfico evaluados, se encontró que la escala numérica y la proyección presentaron los valores más bajos de frecuencia

relativa (Figura 4), registrando entre ambos aproximadamente el 5% con respecto al gran total (Tabla 4). Los valores obtenidos reflejan que en el CCH-UACPyP se ha dado la menor importancia a la inclusión de tales elementos en los mapas (Tabla 4).

Los datos especiales y las fuentes de información también tuvieron valores muy bajos, siendo sin duda el segundo de éstos el más crítico, ya que puede ocasionar que se haga un uso indebido del mapa o de la información espacial contenida. Las fuentes de información fueron incluidas con menor frecuencia en los mapas del CG-FFyL (Tabla 4).

La Figura 6 muestra la relación entre el número de elementos presentes en los mapas y la frecuencia por facultad. Se encontró que los mapas que contienen la mayor cantidad de los 14 elementos evaluados fueron los realizados en la FI (de hecho fue la única institución donde algunos mapas tuvieron todos los elementos considerados), alcanzando el 78% (11 elementos en promedio por mapa).

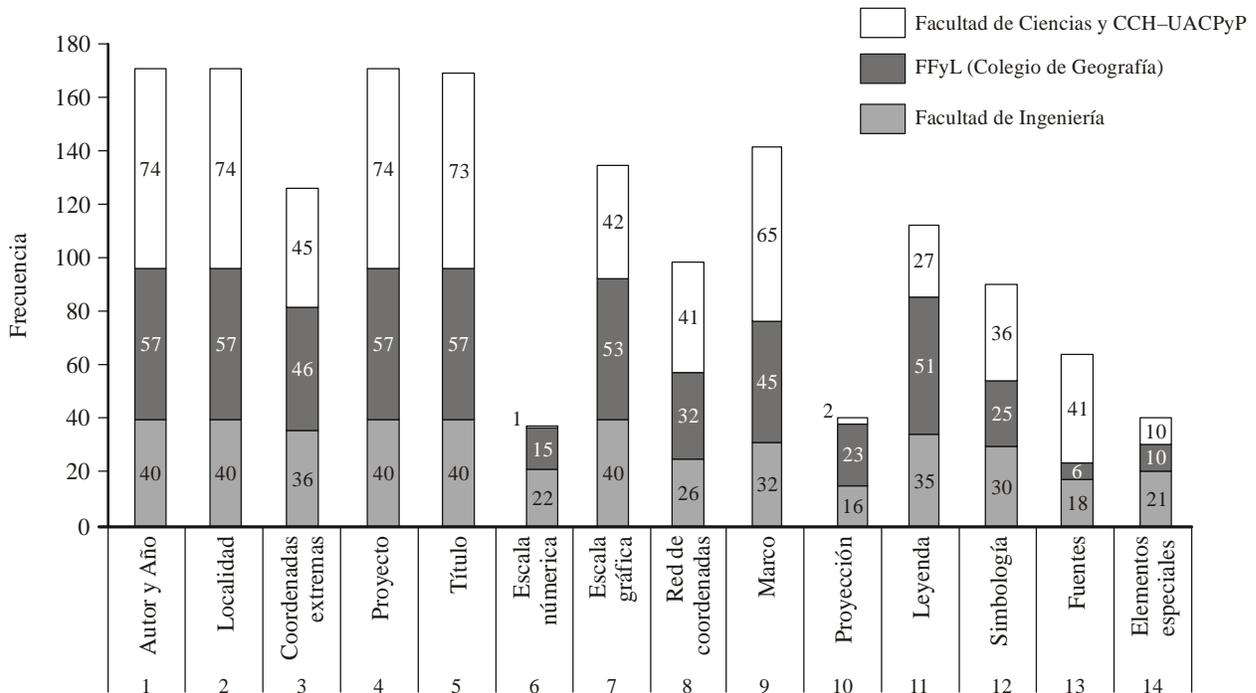


Figura 4. Elementos de diseño cartográfico de mapas incluidos en tesis por facultad. CCH-UACPyP: Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y de Posgrado del Colegio de Ciencias y Humanidades; FFyL: Facultad de Filosofía y Letras.

Después se encontraron los de la FFyL con 67% (nueve elementos en promedio por mapa), y finalmente los de la FC y el CCH-UACPyP con 60% (ocho elementos en promedio por mapa). Por lo tanto, aunque en la FC y el CCH-UACPyP se han elaborado el 44% de los mapas analizados, estos tuvieron la evaluación más baja.

Evaluación integrada de mapas en tesis

La Figura 7 muestra el histograma de evaluación final. La moda corresponde a los mapas que sólo cuentan con nueve de los 14 elementos evaluados. Se observa que el 52% de todos los mapas tiene ocho o nueve elementos. Únicamente el 37% de los mapas tiene la mejor evaluación con diez o más elementos cada uno. La evaluación general de los mapas fue 67% (nueve elementos por mapa).

Cartografía institucional y de publicaciones periódicas

La producción cartográfica de los institutos de Geofísica, Geología y Geografía considerada en este análisis se puede consultar en el suplemento electrónico de este artículo. El Instituto de Geofísica cuenta con 15 mapas que se relacionan con la FVM, el Instituto de Geología ha publicado 17 cartas y el Instituto de Geografía editó 12 hojas en el Atlas Nacional de México con 20 mapas de mayor interés geocientífico. En total, en este trabajo se evaluaron sólo 49 mapas.

Tipos de mapas

Los mapas analizados se agruparon según su tipo en geológicos (35%), geomorfológicos (35%) y geofísicos (30%). La cartografía geológica de la FVM se puede estudiar en forma integrada a la de todo el país en dos escalas. La más pequeña es 1:4,000,000 en el Atlas Nacional de México (hojas IV.1.1 y IV.2.1). La más grande es 1:2,000,000 en la Carta Geológica de la República Mexicana (Ortega-Gutiérrez *et al.* 1992), así como en la Carta Tectónica de México (Padilla y Sánchez *et al.* 1994).

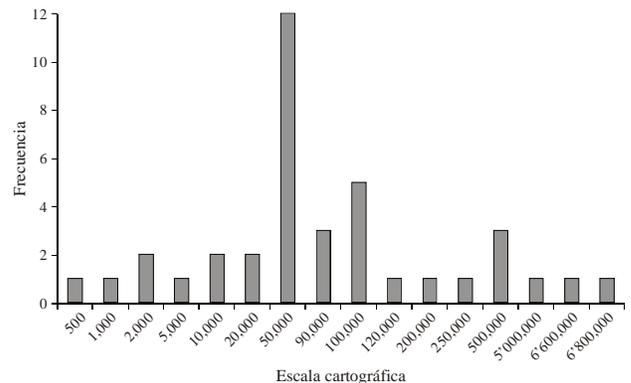


Figura 5. Escalas empleadas en la cartografía de las tesis sobre la Faja Volcánica Mexicana.

Tabla 4. Frecuencia relativa de los elementos de diseño cartográfico incluidos en tesis por facultad (porcentajes con respecto al gran total).

Clave	Elemento	FI	CG-FFyL	FC y CCH-UACPyP	Total Renglón
1	Autor y año	2.54	3.62	4.70	10.86
2	Localidad	2.54	3.62	4.70	10.86
3	Coordenadas	2.29	2.92	2.86	8.06
4	Proyecto	2.54	3.62	4.70	10.86
5	Título	2.54	3.62	4.63	10.79
6	Escala numérica	1.40	0.95	0.06	2.41
7	Escala gráfica	2.54	3.37	2.67	8.57
8	Red de coordenadas	1.65	2.03	2.60	6.29
9	Marco	2.03	2.86	4.13	9.02
10	Proyección	1.02	1.46	0.13	2.60
11	Leyenda	2.22	3.24	1.71	7.17
12	Simbología	1.90	1.59	2.29	5.78
13	Fuentes	1.14	0.38	2.60	4.13
14	Especiales	1.33	0.63	0.63	2.60
Total Columna		27.68	33.90	38.41	100.00

FI: Facultad de Ingeniería; CG-FFyL: Colegio de Geografía de la Facultad de Filosofía y Letras; FC: Facultad de Ciencias; CCH-UACPyP: Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y de Posgrado del Colegio de Ciencias y Humanidades.

Evaluación de la cartografía institucional

Para esta evaluación se utilizaron los mismos criterios definidos para los mapas elaborados en tesis, tomando en cuenta los elementos de diseño cartográfico indicados en la Tabla 1.

La Tabla 5 muestra el número y porcentaje de mapas que cuentan con cada uno de los elementos indicados, e incluye las características descritas para la Tabla 3. En la Figura 8 se presenta la frecuencia de los elementos evaluados para cada instituto.

Elementos de Identificación. La evaluación de todo este grupo se obtuvo del valor promedio de elementos pre-

sentes, el cual fue del 87%. Todos los mapas cuentan con el nombre del autor y año, así como la localidad o zona de estudio. En la mayoría se registró el título del mapa y el proyecto. Sin embargo, las coordenadas extremas únicamente se indicaron en el 57% de los mapas evaluados, porcentaje que resulta menor con respecto a la cartografía incluida en tesis.

Elementos de la base matemática. El promedio de elementos presentes en este grupo fue del 67%. Además, se realizaron las evaluaciones EB y ER con los elementos indicados en la Tabla 5, la primera fue de 79% y la segunda de 69%.

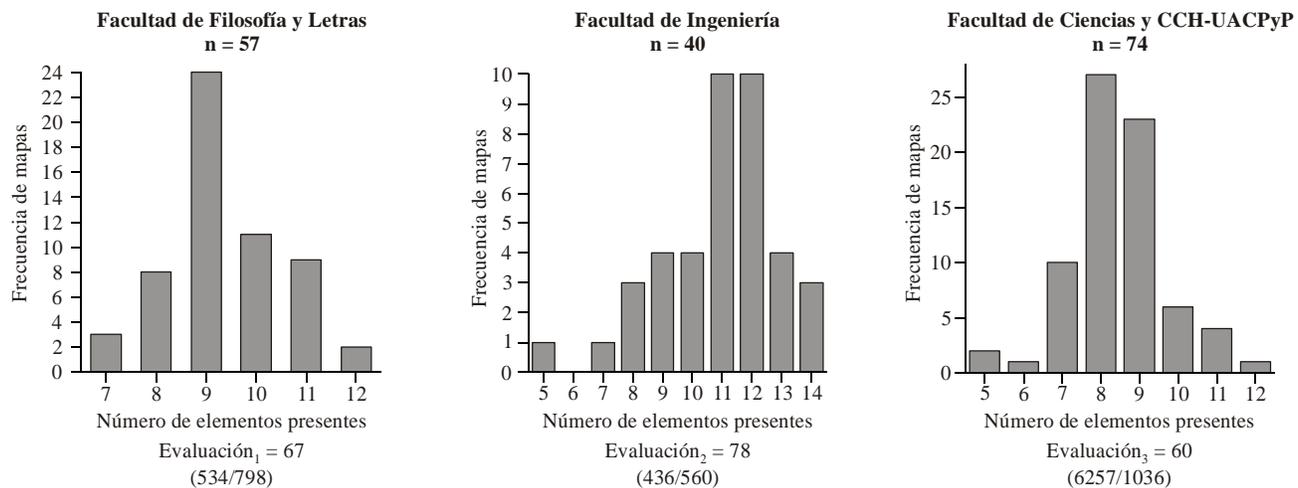


Figura 6. Evaluación de los mapas en términos del número total de elementos presentes en los mismos por facultad. CCH-UACPyP: Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y de Posgrado del Colegio de Ciencias y Humanidades.

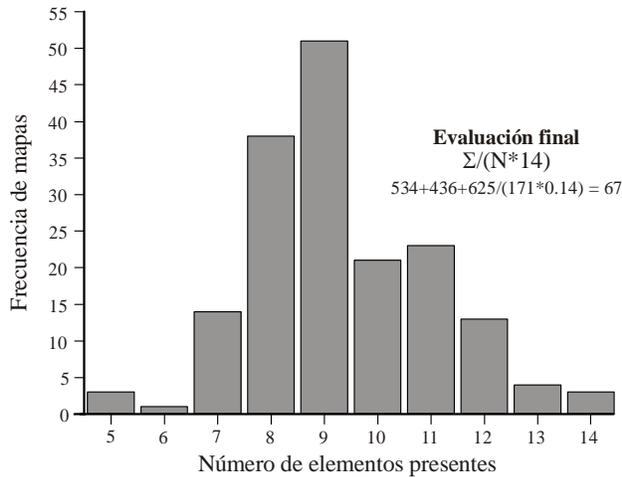


Figura 7. Evaluación integrada de los mapas contenidos en las tesis sobre la Faja Volcánica Mexicana.

La proyección se indicó o fue inferida en 55% de los mapas. La mayoría de los mismos son sinópticos y cubren todo el país, y la proyección más usada fue Cónica Conforme de Lambert. Sólo seis mapas (12%) registraron proyección y retícula UTM con datum NAD27.

Los mapas que contienen tanto la escala gráfica como la numérica fueron 31 (63%), la escala numérica se registró en 38 mapas (78%) y la gráfica en 42 (86%). Las escalas cartográficas más comunes en términos numéricos fueron 1:8,000,000; 1:4,000,000 y 1: 100,000. En general, la cartografía que comprende todo el país es adecuada para aplicaciones regionales y para realizar comparaciones entre la FVM y otras regiones. La Figura 9 muestra con detalle las escalas empleadas en la cartografía institucional evaluada.

El caneavá, o la red de coordenadas completa se registró en un 89% de los mapas. El marco de los mismos está definido por coordenadas extremas (14%) y por gráficos externos (70%).

Elementos de representación cartográfica. El promedio de elementos presentes en este grupo fue del 53%. También fueron realizadas las evaluaciones EB y ER (Tabla 5) con valores de 86% y 45%, respectivamente.

Los mapas con explicación completa, es decir con leyenda y simbología convencional, alcanzaron sólo 18%, mientras que aquéllos con leyenda fueron 84% y con simbología 35%. Con esta información se determinó la cantidad de mapas con elementos de explicación, los cuales representaron el 100%. Finalmente, las fuentes de información se registraron en un 73%.

Tabla 5. Elementos contenidos en mapas editados por institutos.

Elemento	EB	ER	Frecuencia	%
<i>Identificación</i>				
Autor y año			49	100
Localidad o zona de estudio			49	100
Coordenadas extremas (CE)			28	57
Proyecto			40	82
Título			48	98
		Promedio	214/245	87
<i>Base matemática</i>				
Escala numérica (N)			38	78
Escala gráfica (G)	X		42	86
Ambas escalas (N y G)		X	31	63
Red de coordenadas completas (RC)	X	X	44	89
Marco externo (ME)		X	34	70
Marco definido por CE (MDCE)			7	14
Marco (ME + MDCE)	X		41	84
Proyección	X	X	27	55
		Promedio	264/392	67
<i>Representación cartográfica</i>				
Leyenda (L)			41	84
Simbología convencional (S)			17	35
Explicación completa (Ec = L y S)		X	9	18
Explicación (L + S - Ec)	X		49	100
Gráficos de medición			6	12
Fuentes de información	X	X	35	71
		Promedio	157/294	53
<i>Especiales</i>				
Perfiles o secciones, columnas estratigráficas, diagramas, bloques-diagrama, tablas, información textual).			36	73

La X indica los elementos considerados en cada evaluación. EB: Evaluación Básica; ER: Evaluación Rigurosa. La explicación de ambas se encuentra en el texto.

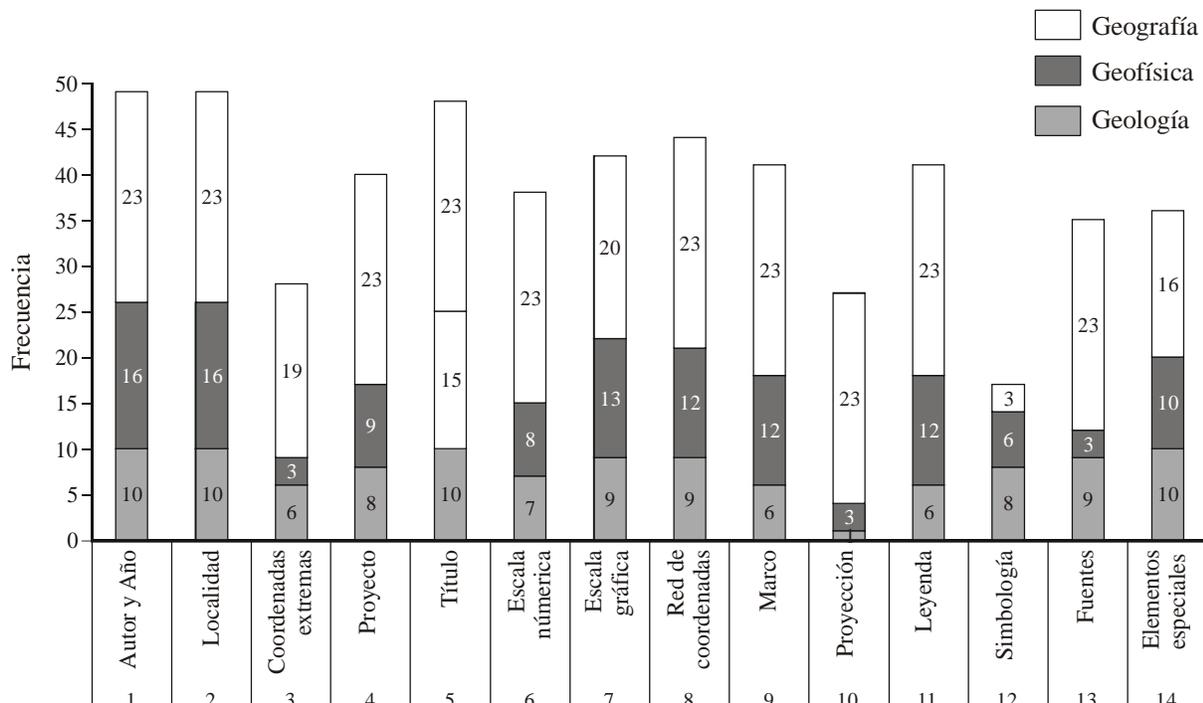


Figura 8. Elementos de diseño cartográfico de mapas editados por institutos.

Evaluación por institutos

Para la agrupación por institutos se consideraron sólo 44 mapas, ya que se encontró que cinco están incluidos en otros mapas a escala diferente. Esta agrupación muestra que 23% son del Instituto de Geología, 36% del Instituto de Geofísica, y finalmente 41% del Instituto de Geografía.

Se encontró que la simbología convencional fue el elemento con menor cantidad de registros, siendo los mapas del Instituto de Geografía los que más frecuentemente omitieron dicho elemento (Figura 8 y Tabla 6). Dentro de los elementos de la base matemática, nuevamente la

proyección fue el más ignorado, siendo el Instituto de Geología quien menos importancia le otorgó (Tabla 6). Además, se encontró también que las coordenadas extremas tuvieron pocos registros y que los mapas del Instituto de Geofísica son los que con menor frecuencia presentan esta información (Tabla 6).

La Figura 10 presenta la relación entre el número de elementos presentes en los mapas y la frecuencia por cada instituto. Se encontró que los mapas con la mayor cantidad de los elementos evaluados fueron los realizados en el Instituto de Geografía, con un 86%. Después se encontraron los del Instituto de Geología (con 84%) y finalmente los del Instituto de Geofísica (con 74%).

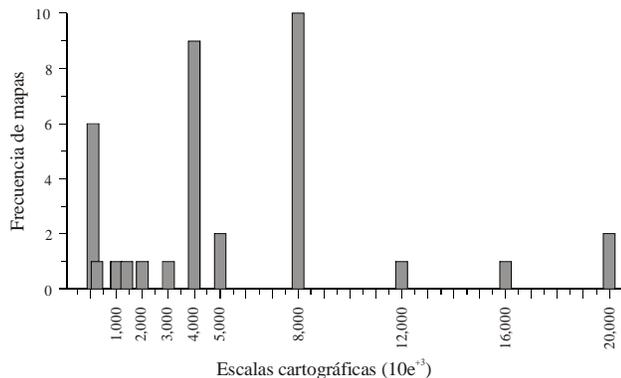


Figura 9. Escalas empleadas en la cartografía de la Faja Volcánica Mexicana editada por institutos.

Evaluación integrada de cartografía institucional

La Figura 11 muestra el histograma de evaluación final de la cartografía institucional. La moda representa el 68%, y corresponde a los mapas que cuentan con 12 y 13 de los 14 elementos evaluados. El 84% de todos los mapas tiene la mejor evaluación con 11 o más elementos cada uno. La evaluación general de estos mapas fue de 81%.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se analizaron 220 materiales cartográficos elaborados en la UNAM, los cuales representan una contribución al conocimiento cartográfico de la FVM

Tabla 6. Frecuencia relativa de los elementos de diseño cartográfico por instituto (porcentajes con respecto al gran total).

Clave	Elemento	Geología	Geofísica	Geografía	Total Renglón
1	Autor y año	1.87	2.99	4.30	9.16
2	Localidad	1.87	2.99	4.30	9.16
3	Coordenadas	1.12	0.56	3.55	5.23
4	Proyecto	1.50	1.68	4.30	7.48
5	Título	1.87	2.80	4.30	8.97
6	Escala Numérica	1.31	1.50	4.30	7.10
7	Escala Gráfica	1.68	2.43	3.74	7.85
8	Red de Coordenadas	1.68	2.24	4.30	8.22
9	Marco	1.12	2.24	4.30	7.66
10	Proyección	0.19	0.56	4.30	5.05
11	Leyenda	1.12	2.24	4.30	7.66
12	Simbología	1.50	1.12	0.56	3.18
13	Fuentes	1.68	0.56	4.30	6.54
14	Especiales	1.87	1.87	2.99	6.73
Total Columna		20.37	25.79	53.83	100.00

durante el periodo de 1980 a 2000. De acuerdo con los resultados, el avance cartográfico en la FVM es aceptable, pero no su calidad, en especial si se consideran para integrar bases de datos espaciales. El cubrimiento cartográfico es más completo en la porción occidental y en la parte central de la misma, mientras el sector oriental carece aún de una adecuada cobertura. En general, la calidad de los mapas de las tesis es menor que la correspondiente a la cartografía institucional. La evaluación de los primeros fue del 67% y la de los segundos del 81%.

La cartografía evaluada tiene deficiencias técnicas críticas, específicamente al carecer de los elementos de la base matemática, debido a que se minimiza su importancia, así como por la falta de una normalización de procesos en

la elaboración de mapas. Los aspectos más débiles de dicha cartografía son la omisión de información sobre las proyecciones y las fuentes cartográficas, importantes para las transformaciones geodésicas y para la estimación de los errores acumulados durante operaciones de análisis espacial. Lo anterior se debe quizás a una concepción errónea del marco teórico de la cartografía que desvincula sus contenidos técnicos, científicos y artísticos.

Los mapas más empleados son los de tipo geológico, que en la cartografía de las tesis representan el 52% y en la editada por institutos el 35%. Las proyecciones estandarizadas para los mapas de la FVM que se realizan en Ciencias de la Tierra son UTM (para escalas grandes y medias) y Cónica Conforme de Lambert (para escalas pequeñas). Dife-

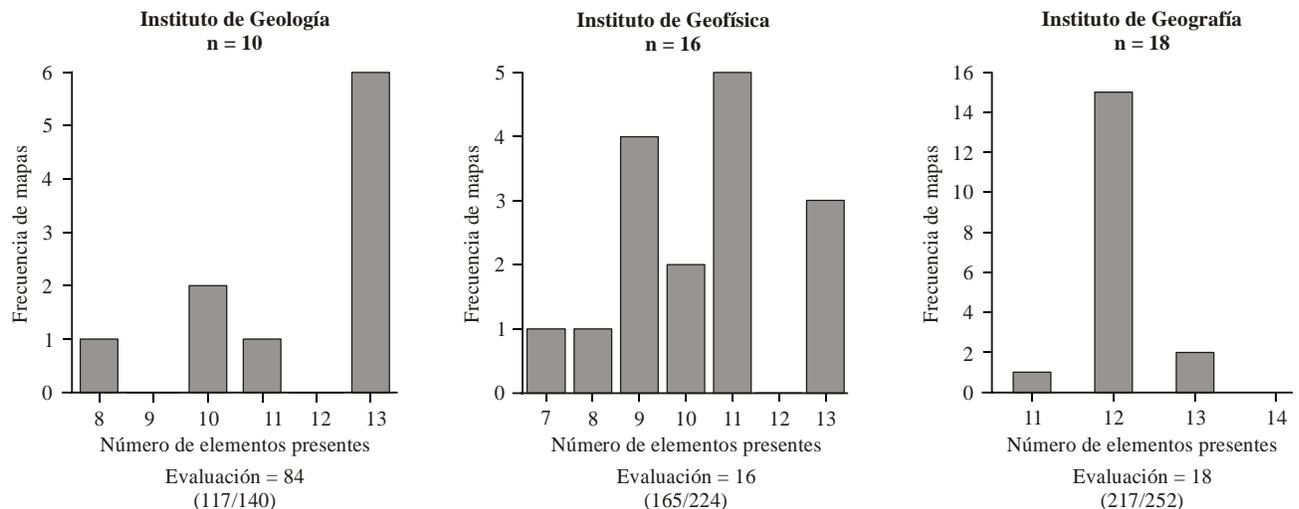


Figura 10. Evaluación de los mapas en términos de los elementos presentes en los mismos por instituto.

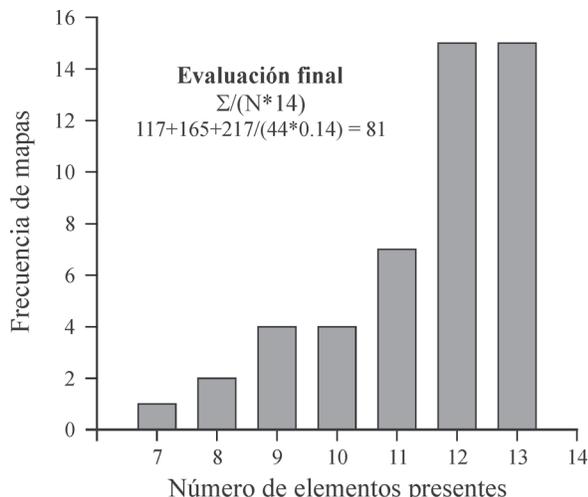


Figura 11. Evaluación integrada de los mapas editados por todos los institutos.

rentes escalas cartográficas se han elegido para la elaboración de mapas geológicos en sectores de la FVM, pero la más empleada es 1:50,000, e incluso mapas en otras escalas se han derivado de ésta.

A continuación se presenta una serie de propuestas orientadas a fortalecer la calidad de los mapas que se elaboran en la UNAM.

1) En el diseño de un mapa o una carta impresa, factible de separarse de cualquier otro documento, se recomienda incluir siempre los elementos cartográficos definidos en la Tabla 1. Los mapas individuales más sencillos deben incluir como mínimo los elementos de identificación, los elementos considerados en la evaluación básica para los grupos de la base matemática (escala gráfica, red de coordenadas, marco y proyección) y representación cartográfica (explicación y fuentes de información), así como otros elementos especiales que sean indispensables para la lectura correcta del mapa.

2) La captura de información cartográfica por medios digitales se debe realizar en la proyección original del mapa para disminuir el riesgo de perder exactitud geométrica.

3) En el caso específico de la creación o edición de

bases de datos espaciales, éstos se deben integrar preferiblemente en coordenadas geográficas sin proyección con esferoide WGS84, ya que es un sistema estándar único sin división por zonas que facilita la transformación a cualquier otra proyección. Sin embargo, se debe realizar su captura en la proyección original para posteriormente hacer la transformación por el método mapa a mapa. Esta técnica minimiza los errores en el proceso de transformación, tanto de la proyección como del datum.

4) Se recomienda utilizar la proyección Cónica Conforme de Lambert secante (Tabla 7) para la producción cartográfica final de estudios nacionales o regionales (escala pequeña), que incluyan el análisis integrado de la FVM y su relación con otras regiones.

5) Para elaborar mapas finales a escala media, se recomienda usar la proyección UTM (Tabla 8), en especial si la extensión preferente del área es norte-sur. Para una descripción detallada sobre esta proyección para México se puede consultar a Caire (1986, 2002). La selección del mejor datum horizontal se realizará de acuerdo a la calidad de los datos disponibles, así como a la exactitud requerida. En general, todavía es posible utilizar el datum NAD27 (con distorsiones de decenas de metros), pero únicamente para producir mapas en escalas cartográficas menores a 1:200,000. Mapas en escala 1:200,000 y mayores deberán seleccionar entre el WGS84 y el sistema de referencia ITRF92 o más reciente.

6) Cuando la región de interés se encuentra entre dos zonas UTM se puede realizar la reasignación de zona UTM, la cual aplica en áreas que se extienden principalmente en dirección norte-sur, y cuando la extensión este-oeste es muy pequeña, ya que la sobreposición de zonas UTM comprende aproximadamente 40 km a cada lado del límite entre ellas. En este caso se recomienda utilizar como base la zona que cubra el mayor porcentaje del área, la otra zona se puede transformar por el método mapa a mapa. Cuando el área de estudio se encuentra entre dos zonas UTM y presenta una extensión este-oeste mayor que 40 km en alguna de las zonas en conflicto se puede definir una nueva proyección Transversa de Mercator utilizando los mismos parámetros del sistema UTM, pero adaptados a cada región (Tabla 9). Sin embargo, cuando el área de estudio se extienda preferentemente en dirección este-oeste, hasta por 35 grados (cartografía de todo el país), se recomienda re proyectar a Cónica Conforme de Lambert secante (Tabla 7), o definir

Tabla 7. Proyección Cónica Conforme de Lambert.

Proyección	Cónica Conforme de Lambert
Esferoide	Clarke 1866 / WGS84
Datum horizontal	Norteamericano 1927 / WGS84
Primer paralelo base	17° 30'
Segundo paralelo base	29° 30'
Meridiano central	-102
Latitud de origen de la proyección	14.00
Falso este (metros)	2500000.00
Falso norte (metros)	0.00

Tabla 8. Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM).

Proyección	Transversa de Mercator (Sistema de coordenadas UTM)
Esferoide	Clarke 1866 / WGS84 / GRS80
Datum horizontal	Norteamericano de 1927 / WGS84 / ITRF92 Época 1988.0 (o ITRF más reciente)
Cuadrícula	UTM a cada X metros
Zona UTM	Indicar la zona correspondiente

Tabla 9. Personalización de la Proyección Transversa de Mercator.

Proyección	Transversa de Mercator
Esferoide	Clarke 1866 / WGS84
Datum	NAD27 / WGS84
Meridiano central	El meridiano del centro de la zona de interés
Latitud de referencia	0
Factor de escala	0.9996 (proyección secante con extensión E-W máxima de 6 grados o 600 km) 1 (proyección tangente recomendada para zonas pequeñas con extensión N-S)
Falso Este	500000 (valor en el meridiano central)
Falso Norte	0

los parámetros para una nueva proyección Transversa de Mercator.

Es importante señalar que el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) se encuentra realizando la actualización de sus mapas, por lo que todos sus productos cartográficos se están transfiriendo del datum NAD27 al sistema ITRF92 época 88. Sin embargo, no es posible transformar las coordenadas de un sistema al otro sin introducir deformaciones severas, ya que éstos son sistemas definidos en forma diferente e incompatibles entre sí (Hernández-Navarro, 1992a).

El método de transformación adoptado en México se fundamenta en la técnica de ajustes de superficies, a través de funciones algebraicas mezcladas (Hernández-Navarro, 1992b). El INEGI implementó esta transformación en el programa TRANINV, el cual se basa en un polinomio algebraico bidimensional de grado nueve. El programa cuenta con una versión web (<http://antares.inegi.gob.mx/traninv>) y sirve para convertir exclusivamente datos puntuales de NAD27 a ITRF92 y viceversa. Se ha estimado para la conversión con TRANINV un error cuadrático medio (RMS)

de ± 3 m (Hernández-Navarro, 1992b). Por lo tanto, se puede utilizar a partir de escalas 1:6,000 y menores, con errores que están dentro de la tolerancia cartográfica, la cual establece que el 90% de los rasgos geográficos se representan con un error máximo de medio milímetro en el mapa.

Por otra parte, se ha demostrado que las diferencias entre el ITRF y el datum NAD83, utilizado en la cartografía de Estados Unidos, son de ± 2 m (Álvarez-García *et al.*, 1992), las cuales son imperceptibles para la cartografía en escalas 1:50,000 o menores, que son las más utilizadas por la cartografía elaborada en las tesis de la UNAM. Por lo tanto, se puede transformar la cartografía digital basada en cartas topográficas del INEGI de NAD27 a NAD83. La transformación se puede hacer con la técnica mapa a mapa utilizando programas de Sistemas de Información Geográfica y servirá en los casos que requieran una integración rápida con esa tolerancia, o también para realizar comparaciones generales con la cartografía actual en ITRF92. Lo mismo aplica si se decide utilizar el datum WGS84 en lugar del NAD83, ya que las medidas del esferoide GRS80 (usado en la cartografía con NAD83 e ITRF92) son prácticamente las mismas que las del esferoide WGS84. Esta última transformación es la que se recomienda para propósitos cartográficos, ya que WGS84 también es un datum geocéntrico y es el implementado en sistemas de posicionamiento global (GPS), lo cual permite integrar directamente los datos de campo capturados con esta tecnología.

En general, los mapas elaborados por computadora deberán considerar también, además de los elementos cartográficos analizados, algunas de las recomendaciones indicadas en la Tabla 10.

Finalmente, los resultados de este análisis fueron usados por Origel-Gutiérrez (2002) como base para la elaboración de una guía de procesos para normalizar la implementación de bases de datos espaciales. Esta guía

Tabla 10. Recomendaciones genéricas para mapas digitales.

Recomendación	Características
Metadatos	Incluir el archivo de metadatos por cada mapa especialmente en el formato del <i>Federal Geographic Data Committee</i> (http://www.fgdc.gov).
Información general	Elaborar un archivo en formato de texto (ASCII), con la explicación para el uso correcto de los mapas digitales.
Formato digital	Indicar los formatos empleados y los programas comerciales utilizados en la elaboración de los mapas, así como las versiones de los mismos.
Archivos comprimidos	Especificar la instrucción para descomprimir o restaurar los archivos.
Georreferencia	Incluir puntos de control, distribuidos equitativamente en la superficie del mapa.
Programa de cómputo desarrollado	Especificar las características del sistema desarrollado. Si el sistema es de uso público se puede incluir el código de programación.
Diskettes, CDs, DVDs o cintas	Incluir etiquetas y una lista del contenido.
Páginas web	Incluir una página web con información detallada sobre cada mapa, su metodología de elaboración o instrucciones de interactividad.
Actualización vía FTP	Liberar información detallada o nuevas versiones del mapa en un sitio FTP.

permite profundizar en operaciones técnicas tales como selección de formatos, digitalización, barrido óptico electrónico, creación de mosaicos, vectorización, corrección geométrica, ortorrectificación y creación de fotomosaicos.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se realizó gracias al apoyo económico de la Dirección General de Estudios de Posgrado de la UNAM y de proyectos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) asignados al Instituto de Geofísica. Se agradece la asistencia de Johanna Morales Whitney y Francisco Correa Mora en la organización y el tratamiento de los datos.

REFERENCIAS

- Álvarez-García, G., Soler, T., Hotthem, L.D., 1992, Diferencias NAD83 vs. ITRF en la cartografía sobre la Frontera México-E.U.A.: *Revista Cartográfica*, 61, 131-139.
- Caire, J., 1986, *La Proyección Cartográfica para la República Mexicana*: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Dirección General de Publicaciones, 155 p.
- Caire, J., 2002, *Cartografía Básica*: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, 289 p.

- Hernández-Navarro, A., 1992a, La Red Geodésica Nacional Activa de México: *Revista Cartográfica*, 61, 141-148.
- Hernández-Navarro, A., 1992b, Conversión de la Cartografía Mexicana a un nuevo Sistema Geodésico de Referencia: *Revista Cartográfica*, 61, 149-159.
- Origel-Gutiérrez, G., 2002, *Sistematización de cartografía digital en la Faja Volcánica Mexicana*: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, tesis de maestría, 144 p.
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L.M., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J., Morán-Zenteno, D., Alaniz-Álvarez, S., Nieto-Samaniego, A., 1992, *Carta Geológica de la República Mexicana, escala 1:2'000,000*: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales, 1 mapa y texto explicativo.
- Padilla y Sánchez, R.J., Martínez-Serrano, R.G., Torres-Rodríguez, V. (compiladores), 1994, *Carta Tectónica, escala 1:2'000,000*: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2 hojas.
- Salitchev, K.A., 1979, *Cartografía: La Habana*: Cuba, Ministerio de Educación, Pueblo y Educación, 215 p.

Manuscrito recibido: Febrero 28, 2003

Manuscrito corregido recibido: Marzo 4, 2004

Manuscrito aceptado: Marzo 11, 2004