

REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INFORMACIÓN
GEOCIENTÍFICA MINERO- AMBIENTAL Y NUCLEAR**

INGEOMINAS

**UNA METODOLOGÍA PARA EVALUAR
INFORMACIÓN GRAVIMÉTRICA
TERRESTRE DISPONIBLE**

Wilson Quintero
Carlos Alberto Rey

Bogotá, 2002

CONTENIDO

UNA METODOLOGÍA PARA EVALUAR INFORMACIÓN GRAVIMÉTRICA TERRESTRE DISPONIBLE	41
RESUMEN	41
INTRODUCCIÓN	41
BASE DE DATOS GAVIMÉTRICA DISPONIBLE	42
METODOLÓGIA PROPUESTA	47
ANÁLISIS DE DATOS	48
RESULTADOS	52
CONCLUSIONES	52
BIBLIOGRAFÍA	55

FIGURAS

Figura 1. Base cartográfica con información gravimétrica con acuerdo a la fuente.	43
Figura 2. Mapa base con información gravimétrica.	44
Figura 3. Clasificación de la información de la base datos gravimétrica total en porcentaje de acuerdo con la fuente.	45
Figura 4. Mapa base de la información gravimétrica con el efecto por localización.	46
Figura 5. Selección del área para el proyecto piloto.	49
Figura 6. Porcentaje de participación por fuente en la base de datos oficial de INGEOMINAS para la Plancha 5-09.	50
Figura 7. Comparación de diferencias para las fuentes	51

TABLAS

Tabla 1. Clasificación de la información de la base datos gravimétrica total de acuerdo con la fuente.	45
Tabla 2. Clasificación de la información gravimétrica para la Plancha 5-09 de acuerdo con la fuente.	50
Tabla 3. Cuadro que muestra el número de iteraciones necesarias por fuente para llegar a la desviación estándar patrón de 0,3 miligales.	53
Tabla 4. Confiabilidad de las subbases de datos.	53
Tabla 5. Representatividad de la muestra respecto a la población (plan piloto).	54
Tabla 6. Avance en la Base de Datos Gravimétrica Oficial de INGEOMINAS.	54

UNA METODOLOGÍA PARA EVALUAR INFORMACIÓN GRAVIMÉTRICA TERRESTRE DISPONIBLE

RESUMEN

Se presentan las diversas fuentes de información gravimétrica disponibles que han servido de base para la elaboración de los mapas nacionales de anomalía de Bouguer simple y total. Al evaluar el mapa de anomalía de Bouguer total se encuentran diferencias significativas entre las tres fuentes denominadas ACIGEMI, ECOPETROL, e IGAC. En el análisis de estas diferencias no se encontraron patrones comunes que arrojaran conclusiones que explicaran las diferencias en las anomalías en términos de las herramientas y procesos usados por los autores en la producción cartográfica. Por lo tanto, se concluye que dichas diferencias están soportadas en la fuente de la información gravimétrica.

Se plantea una nueva metodología de estandarización de información gravimétrica a bajo costo que consiste en realizar trabajo de campo e implementar una base de datos oficial, donde se amarren los levantamientos a la red gravimétrica nacional, y se mantengan los campos; fuente de información, proyecto y línea.

El plan piloto se ejecutó en el costado occidental de la Plancha 5-09, a escala 1:500.000 (Medellín, Manizales, Ibagué). Se encontraron diferencias de alrededor de 14 miligales para algunas fuentes, que son explicables por los cambios de datum en los últimos 20 años. Las demás fuentes presentaron diferencias de + 3 miligales, que corresponden a la exactitud encontrada en esta zona para la red gravimétrica nacional estandarizada para 1998.

INTRODUCCIÓN

El objetivo fundamental de este trabajo es presentar una metodología para validar datos gravimétricos terrestres disponibles generados por diferentes fuentes en el territorio nacional, para producir una base de datos gravimétrica oficial, que responda al requerimiento del gobierno nacional de depositar en INGEOMINAS, la responsabilidad de la compilación, la validación y la generación de bases de datos geofísicas, entre otras, para producir información geocientífica.

Para iniciar con la parte descriptiva, se presentan las diversas fuentes de información gravimétrica que han servido de base para la elaboración de los mapas gravimétricos de anomalía de Bouguer simple y total, con las motivaciones que llevaron a plantear una metodología de validación de información gravimétrica terrestre disponible.

Como resultado del análisis del estado de la información gravimétrica se planea una metodología de validación de información gravimétrica a bajo costo, que consiste en realizar un trabajo de campo e implementar una base de datos oficial, donde se amarren los levantamientos a la Red Gravimétrica Nacional, y se mantengan los campos; fuente de información, proyecto y línea, como elementos esenciales en la identificación de cada punto de observación gravimétrica.

Finalmente se dan los resultados, conclusiones y recomendaciones, útiles para enfocar el trabajo gravimétrico del INGEOMINAS en los próximos cinco años.

BASE DE DATOS GRAVIMÉTRICA DISPONIBLE

La base datos gravimétrica actual del INGEOMINAS está compuesta de tres subbases, a las cuales se denominará: ECOPETROL, ACIGEMI e IGAC.

ECOPETROL: es una compilación de información gravimétrica realizada por ECOPETROL, caracterizada por tener, entre otros campos como gravedad observada y gravedad observada recalculada, empresa que adquirió datos, línea y proyecto.

ACIGEMI: Se denominó ACIGEMI, a la base de datos que dio origen a la capa de información Mapa de Anomalías Gravimétricas del Atlas Colombiano de Información Geológico-Minera para Inversión ACIGEMI. Esta base de datos, a diferencia de la ECOPETROL, no presenta los campos: fuente, línea, proyecto, ni gravedad observada.

IGAC: es la base de datos gravimétrica proveniente del libro GRAVIMETRIA 1998, del IGAC. Contiene los valores gravimétricos para los diferentes puntos que componen las líneas de nivelación establecidas por el IGAC. En esta base de datos los datos están clasificados por líneas.

Al elaborar un mapa de puntos gravimétricos para el territorio colombiano se encontraron algunas inconsistencias, entre ellas, que un mismo lugar geográfico estaba reportado por dos o tres de las subbases mencionadas con diferente valor de gravedad observada. A modo de ilustración se presenta en la Figura 1 la base gráfica de toda la información gravimétrica disponible para la plancha, a escala 1:500.000, identificada con el número 5-09, por tener una gran densidad de datos y presentar las inconsistencias más frecuentes que se encontraron en las subbases de datos gravimétricos. Además, esta base gráfica se constituye en el eje primordial como fuente de análisis porque permite observar la relación entre los elementos de la base de datos y el terreno, es decir, que con la ayuda de este mapa se puede inferir si existe relación entre los perfiles gravimétricos y las vías, ríos, y otros.

Con un mapa base como el presentado en la Figura 1, se puede realizar una excelente

planeación del trabajo de campo, que permite detectar inconsistencias y escoger los puntos de observación en una campaña de campo.

Una observación detallada del mapa base lleva a plantear algunas interrogantes, de los cuales unos se resuelven a través de un trabajo en las subbases de datos y otros

con la aplicación de una metodología de validación de información gravimétrica que incluye trabajo de campo. La Figura 2 es una ampliación de un sector de la plancha 5-09 y muestra como un mismo lugar geográfico está reportado con información gravimétrica por más de una fuente o subbase de datos.

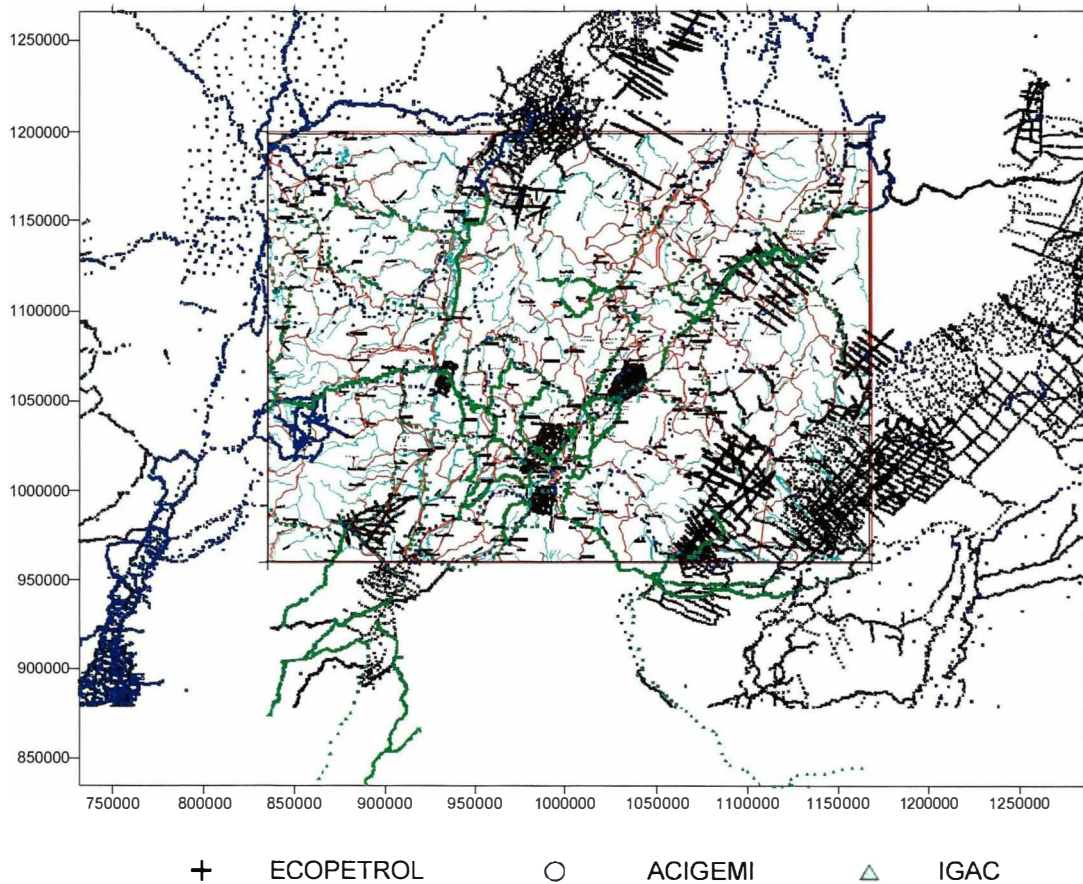


Figura 1. Base cartográfica con información gravimétrica con acuerdo a la fuente. La base cartográfica incluye toda la información disponible de vías, ríos, pueblos, toponimia, y curvas de nivel. En la figura, la línea azul corresponde a ríos, la línea roja a vías, los nombres están de color negro, la cruz negra corresponde a puntos reportados por ECOPETROL, el círculo azul a puntos reportados por ACIGEMI, y el triángulo verde a los puntos reportados por IGAC. El recuadro rojo corresponde al área de la Plancha 5-09 y el recuadro negro al área de influencia para minimizar el efecto de borde en la presentación de mapas de anomalías gravimétricas.

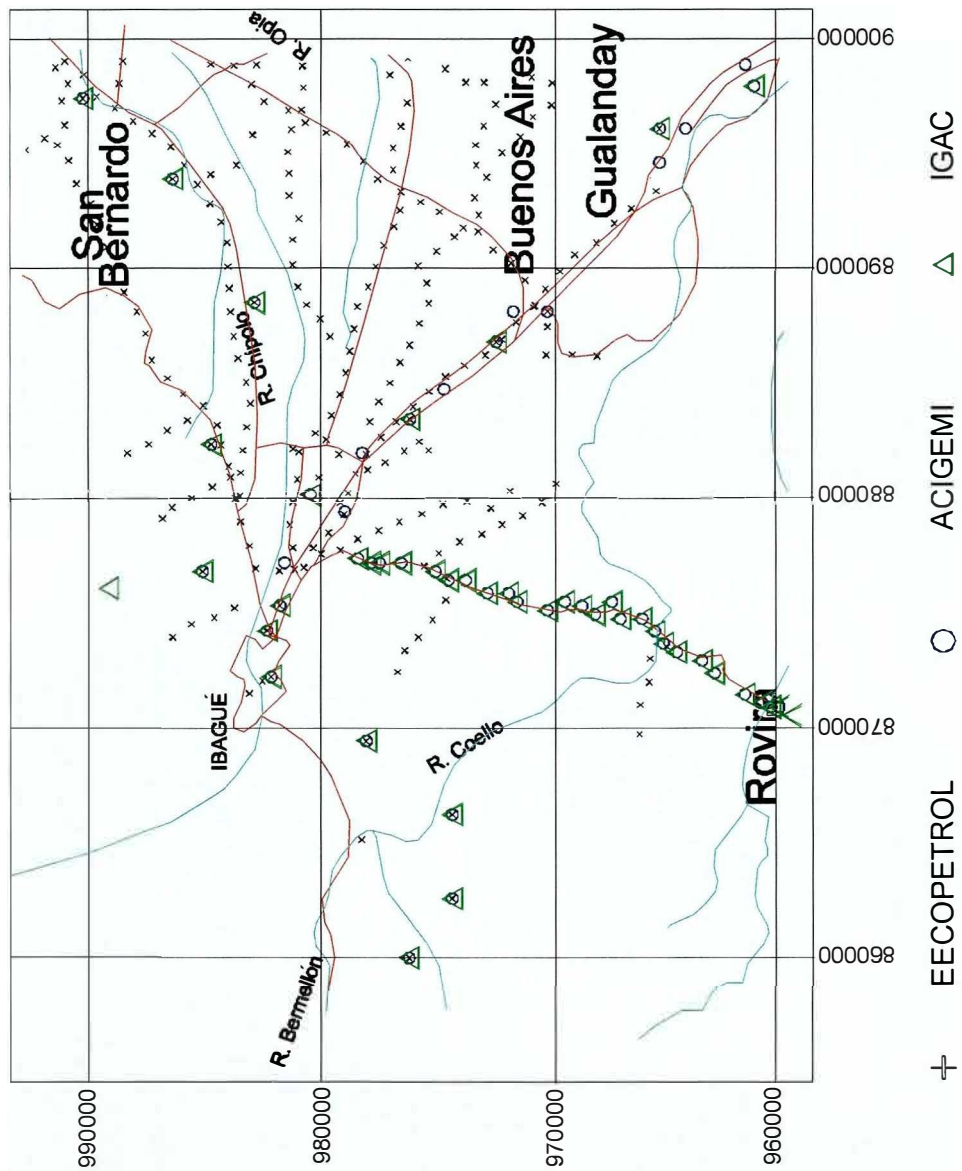


Figura 2. Mapa base con información gravimétrica. Como se observa en la figura, en la vía Rovira - Ibagué, los puntos están reportados por la bases ACIGEMI e IGAC, en el trayecto IBAGUÉ - GUALANDAY, existen puntos que están reportados por las tres subbases de datos, ECOPETROL, ACIGEMI e IGAC, también se dan otros puntos en este mismo que están reportados por las subbases ACIGEMI y ECOPETROL.

FUENTE	REPORTADOS	CLASIFICACIÓN POR FUENTE			REPETIDOS DOS FUENTES	PROPIOS	REPETIDOS EN LA FUENTE	TOTAL POR FUENTE
		ACIGEMI	ECOPETROL	IGAC				
ACIGEMI	31.371	18.154	9.042	9.019	4.844	18.154	194	17.960
ECOPETROL	75.036	0	69.794	5.242	0	69.794	2.623	67.171
IGAC	9.064	0	0	9.064	0	9.064	32	9.032

TOTAL 94.163

Tabla 1. Clasificación de la información de la base datos gravimétrica total de acuerdo con la fuente.

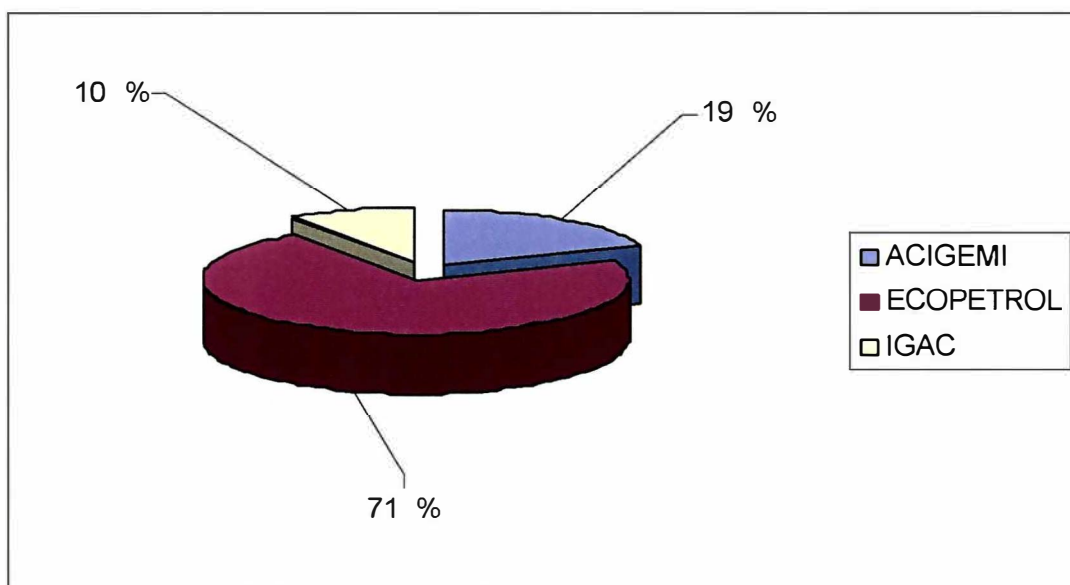


Figura 3. Clasificación de la información de la base datos gravimétrica total en porcentaje de acuerdo con la fuente.

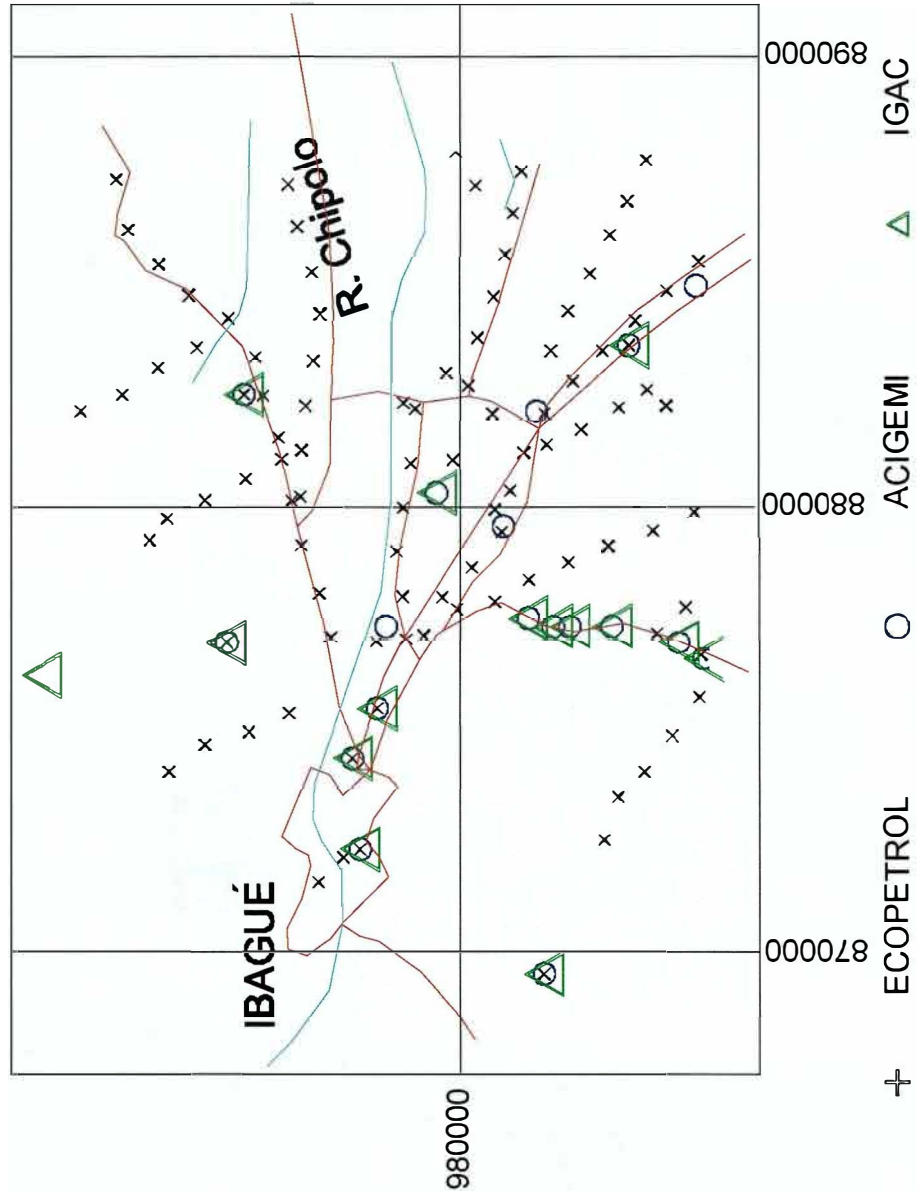


Figura 4. Mapa base de la información gravimétrica con el efecto por localización. La gráfica corresponde a una ampliación del mapa a escala 1:500.000. Para la planeación del trabajo de campo se recomienda utilizar las bases cartográficas a la escala más detallada de que se disponga. Sin embargo, es importante verificar para las distintas subbases de datos, el datum geodésico y el sistema de proyección cartográfico.

Por ejemplo, al analizar los datos en un área pequeña (Figura 1), se nota que se debe realizar una depuración de las subbases de datos con el objeto de identificar la fuente de cada dato. Por lo tanto, se tomó para todo el país la información de cada subbase y se cruzaron entre sí. La base primaria fue la información del IGAC, ya que corresponde a las líneas de nivelación geodésicas oficiales y reportadas en el libro GRAVIMETRÍA 1998. Esta base de datos se cruzó con la de ECOPETROL, y se obtuvieron los datos que eran propios de esta fuente. Finalmente, a la subbase de datos ACIGEMI se le quitaron los datos identificados como IGAC y los identificados como fuente ECOPETROL y los restantes quedaron como fuente ACIGEMI. En el Tabla 1 se presentan los resultados de la clasificación de los datos por fuente de la cual se nota que la fuente IGAC, tiene 32 datos repetidos, la fuente ECOPETROL reporta 75.036 datos, de los cuales 2.623 son repetidos, y 5.242 pertenecen a la fuente IGAC. La fuente ACIGEMI reporta 31.371 datos, de los cuales 194 están repetidos, 9.042 pertenecen a la fuente ECOPETROL y 9019 a la fuente IGAC. Como resultado, al clasificar los datos por fuente para todo el país, IGAC aporta 9.032 datos, ECOPETROL 67.171 y ACIGEMI 17.960.

Solucionadas las inconsistencias de doble o triple reporte del dato gravimétrico para un mismo lugar geográfico, se pasa a observar otras inconsistencias que tienen que ver con la localización de la observación (Figura 4). Se destacan varios aspectos, entre ellos, el desplazamiento de las observaciones con respecto a las vías, que se puede deber a una mala determinación de las coordenadas de los puntos, a un cam-

bio en el trazado de la vía o en el peor de los casos a una mala cartografía. Otro aspecto es la no relación entre la observación y el elemento geográfico. Esto se puede deber a diferencias en la escala cartográfica o simplemente al diseño de los perfiles gravimétricos.

METODOLOGÍA PROPUESTA

La metodología para validar la información gravimétrica está orientada a desarrollar inicialmente un trabajo de oficina con énfasis en la planeación de las observaciones muestra, luego un análisis estadístico, donde se comparan los datos muestra obtenidos en campo versus las fuentes y, finalmente, tomar una decisión de modificar o no el dato fuente.

En la planeación del trabajo de campo se clasifica la información por su respectiva fuente, luego se agrupan los datos (vistas) de acuerdo con variables, línea y proyecto. Igualmente, se elabora un mapa base de la zona, que incluye un mapa de puntos clasificado de las observaciones gravimétricas. Esto se elabora en el software Geosoft, porque permite desplegar al mismo tiempo la base gráfica y la información alfanumérica a modo de liga.

Para el trabajo de campo se lleva un computador portátil y las descripciones de las estaciones del IGAC. Se procura obtener al menos tres muestras por línea teniendo en cuenta lo siguiente:

-ECOPETROL: se busca el sitio con el GPS, y se toman al menos tres muestras.

-ACIGEMI: se busca el sitio con el GPS, y se toman al menos tres muestras. Aquí las

muestras se escogen siguiendo patrones geográficos, caminos, ríos, y otros. (no existen vistas para clasificar los datos por fuente, línea, proyecto, y otros.)

-IGAC: se exploran las diferentes descripciones y se ocupan solamente aquellos puntos que conserven el mojón

Para tomar la decisión de modificar o no el campo gravedad observada en un dato fuente, en oficina se elabora una serie de estadísticas de las diferencias encontradas entre las observaciones realizadas en campo y los valores reportados en la base de datos. Básicamente, las estadísticas son: el rango de variación de las diferencias, el promedio y la desviación estándar. Estos parámetros se calculan hasta cuando se tenga una desviación estándar menor a 0,3 miligales (el criterio de rechazo 1,5 desviaciones estándar). La decisión de modificar la base de datos, estará en función del porcentaje de confiabilidad de la fuente, el rango de variación y el límite superior e inferior del mismo.

En la Figura 5 se presenta el área del proyecto piloto, el cual corresponde al sector occidental de la Plancha 5-09, caracterizada por contener total o parcialmente los municipios de Medellín, Armenia e Ibagué.

Para la realización del trabajo de campo se clasificó la información de las respectivas subbases de datos de acuerdo con la fuente. La Tabla 2 presenta el resultado de la clasificación, y corresponde a los índices encontrados para todo el territorio colombiano. ACIGEMI proporciona de 6.613 reportados, 1.897; ECOPETROL, de 19.608 reportados, 17.016, e IGAC, de 4.200, 4.180.

En la Figura 6 se presentan los porcenta-

jes de los aportes por fuente y de nuevo ECOPETROL proporciona el 74%, ACIGEMI el 18% e IGAC el 8%. Este primer análisis por fuente ayuda a disminuir ruido en productos elaborados con fuente en la base de datos oficial, porque las anomalías gravimétricas vistas desde cada una de las fuentes reportan valores distintos acorde a la misma. Esto se debe a que no hay un estándar nacional en la determinación de anomalías gravimétricas.

En el Figura 6 se presenta la participación de cada fuente dentro de la base oficial del INGEOMINAS, para la Plancha 5-09. De nuevo, ECOPETROL es la fuente que más información aporta a la base de datos.

ANÁLISIS DE DATOS

Las muestras observadas en campo para validar los datos propios de las fuentes ECOPETROL, ACIGEMI e IGAC fueron procesadas aplicando todas las correcciones, las mareas, la deriva estática, y la deriva dinámica. Los circuitos se diseñaron a modo de obtener cierres a diario y para toda el área piloto. Tales cierres fueron aplicados acorde a los métodos de observación.

Con las observaciones y ajustes se procedió a comparar los valores de gravedad observada obtenidos en la muestra con el reportado para cada punto por la respectiva fuente de datos gravimétricos. En la figuras 7a, 7b y 7c se presenta la comparación entre la muestra de campo y el valor de gravedad observado reportado por cada fuente de datos. La comparación corresponde a la diferencia entre el valor de la gravedad observada en la fuente de datos y el valor encontrado por nosotros en la

muestra de campo. La Figura 7a presenta las diferencias encontradas para la fuente ECOPETROL; la Figura 7b presenta las diferencias encontradas para la fuente ACIGEMI, y la Figura 7c presenta las diferencias para la fuente IGAC. En las tres figuras se puede observar que el efecto de la corrección por mareas aplicado a las observaciones es relativamente pequeño comparado con el valor de las diferencias encontradas. Por lo tanto, diferencias en el modelo de mareas no son significativas en la determinación de la gravedad observa-

da para efecto del cálculo de anomalías gravimétricas de uso geofísico a nivel regional.

En la Figura 7a se nota que los datos de ECOPETROL, con dos cálculos de promedios a 1,5 desviaciones estándar, no se dan mas rechazos. Para ACIGEMI, en la Figura 7b, se necesitaron tres promedios para que no quedaron rechazos superiores a 1,5 desviaciones estándar. Y para IGAC; en la Figura 7c se dan las mismas condiciones de rechazo que para la fuente ACIGEMI.

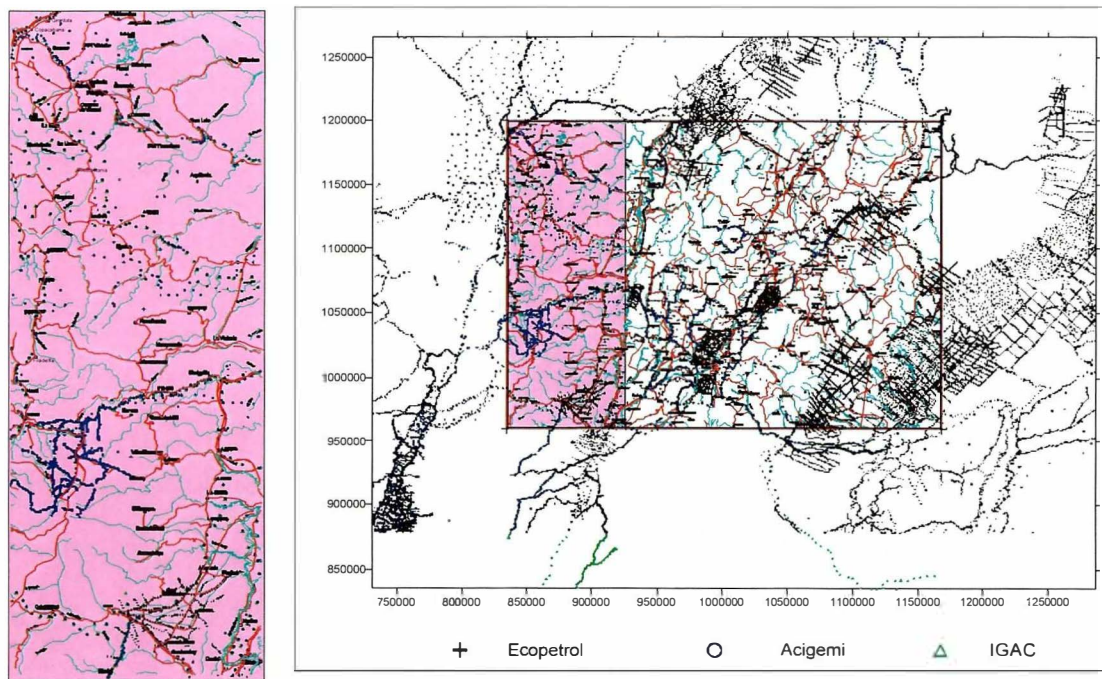


Figura 5. Selección del área para el proyecto piloto. La parte derecha corresponde a la Plancha 5-09 y el área sombreada de la misma como de la parte izquierda de la figura corresponde al área del plan piloto.

FUENTE	REPORTADOS	CLASIFICACIÓN POR FUENTE			REPETIDOS DOS FUENTES	PROPIOS	REPETIDOS EN LA FUENTE	TOTAL POR FUENTE
		ACIGEMI	ECOPETROL	IGAC				
ACIGEMI	6.613	1.976	2.833	4.171	2.367	1.976	79	1.897
ECOPETROL	19.608	0	17.124	2.484	0	17.124	108	17.016
IGAC	4.200	0	0	4.200	0	4.200	20	4.180

TOTAL 23.093

Tabla 2. Clasificación de la información gravimétrica para la Plancha 5-09 de acuerdo con la fuente. De la información reportada por cada fuente, el porcentaje de datos propios respecto a los reportados es de 29% para ACIGEMI, 87% para ECOPETROL y 99,5% para IGAC.

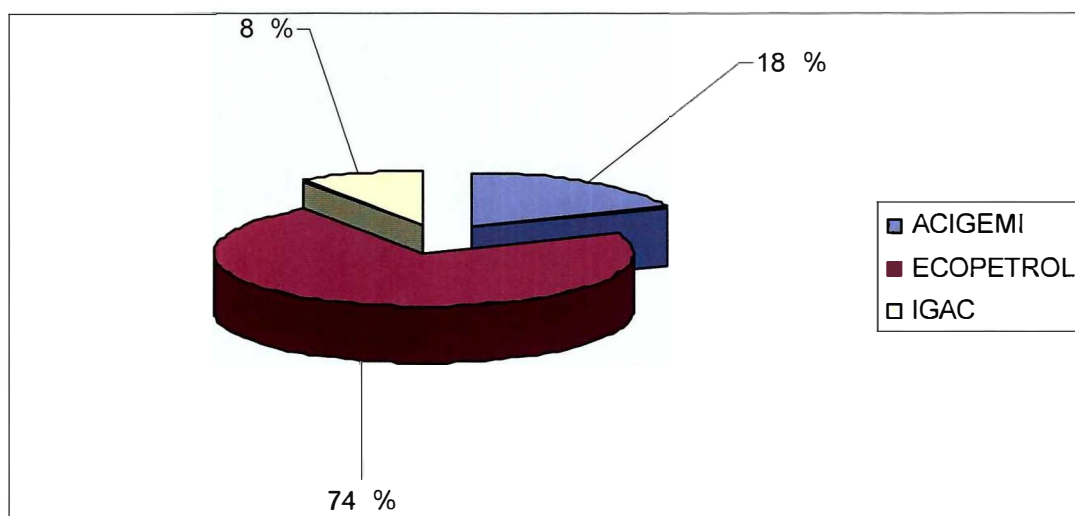
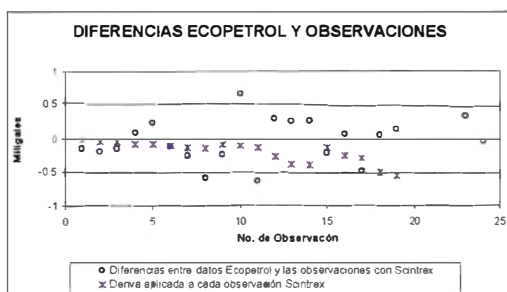
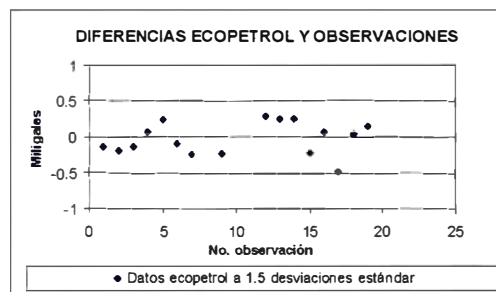


Figura 6. Porcentaje de participación por fuente en la base de datos oficial de INGEOMINAS para la Plancha 5-09.

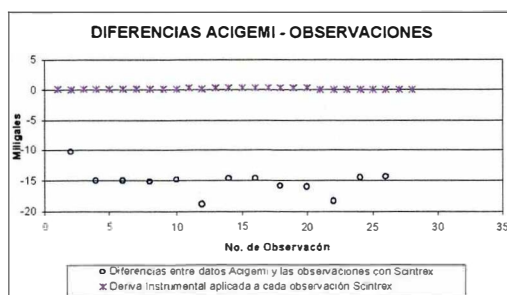


Número de datos = 19
Promedio uno = -0,05
Desviación estándar = 0,33

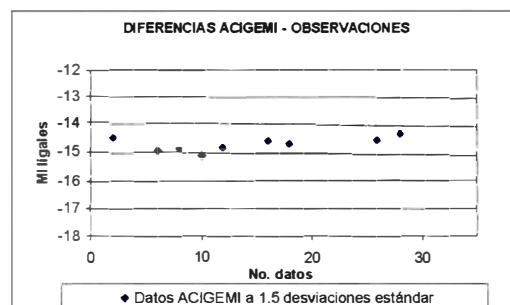


Número de datos = 16
Promedio dos = -0,02
Desviación estándar = 0,23

Figura 7a. Comparación de diferencias para la fuente ECOPETROL. Se necesitaron dos promedios y tres rechazos para alcanzar una desviación estándar menor a 0,3 miligales.

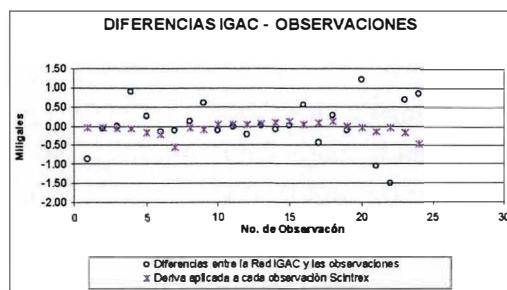


Número de datos = 14
Promedio uno = -15,12
Desviación estándar = 1,97

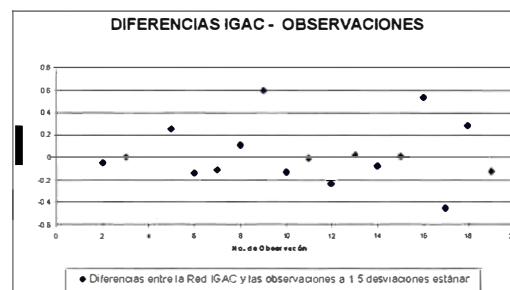


Número de datos = 9
Promedio tres = -14,70
Desviación estándar = 0,28

Figura 7b. Comparación de diferencias para la fuente ACIGEMI. Se necesitaron dos tres promedios y cinco rechazos para alcanzar una desviación estándar menor a 0,3 miligales.



Número de datos = 24
Promedio uno = 0,03
Desviación estándar = 0,61



Número de datos = 17
Promedio tres = 0,03
Desviación estándar = 0,2

Figura 7c. Comparación de diferencias para la fuente IGAC. Se necesitaron tres promedios y siete rechazos para alcanzar una desviación estándar menor a 0,3 miligales.

En las tres comparaciones, el aporte de las mareas está alrededor de los 0,5 miligales, valor no significativo ante el promedio final de ACIGEMI que fue de -14.70 miligales. Para ECOPETROL, la diferencia promedio de -0,02 miligales para una desviación estándar de 0,23 es suficiente para no rechazar más medidas. Para ACIGEMI, con tres promedios no se dan más rechazos, lo mismo ocurre para IGAC.

RESULTADOS

En la Tabla 3 se presenta un resumen de los cálculos estadísticos con el número de iteraciones, el promedio y la desviación estándar encontrada en cada una de las iteraciones. Mientras que en la Tabla 4 se presenta un análisis de la confiabilidad donde se relacionan el número de datos observados con el número de datos que están dentro de una distribución con desviación estándar menor o igual a 0,3 miligales

ACIGEMI presenta la confiabilidad más baja respecto a las otras fuentes; para incluir esta base de datos en la base de datos oficial de INGEOMINAS, se requiere aplicar a los datos del plan piloto el promedio iterado por tercera vez. Es muy posible que este promedio, además de contener errores de propagación involucre un cambio de datum gravimétrico. Respecto a ECOPETROL e IGAC, el primero presenta una buena confiabilidad mientras que el segundo presenta confiabilidad regular. Para el plan piloto, estas dos fuentes de información no son afectadas porque el promedio se encuentra por debajo de 1 miligal. En la Tabla 5 se presenta el porcentaje de representatividad de la muestra respecto a la población, y es la fuente ACIGEMI la de menor porcentaje muestraa-

do. Sin embargo, el resultado de afectar los datos en -14,7 es bastante satisfactorio, porque las diferencias encontradas se encuentran alrededor de dicho valor.

En la Tabla 6 se presenta el resumen de la contribución del plan piloto en la validación de la base de datos oficial gravimétrica de INGEOMINAS.

De la tabla anterior se observa que, entre el límite inferior y el límite superior para el datum gravimétrico, que es la Red Gravimétrica del IGAC, hay + 1,5 miligales, rango en el cual estará la exactitud de la gravedad observada para el cálculo de anomalías gravimétricas.

De otro lado, del cuadro se puede decir que la fuente con mayor nivel de precisión es ECOPETROL, y que el avance en la validación por fuente de acuerdo con el trabajo realizado para el plan piloto es en promedio un 3%.

CONCLUSIONES

La metodología propuesta para validar información gravimétrica terrestre disponible es rápida, y de bajo costo.

La fuente ECOPETROL para el área piloto presenta la mejor confiabilidad, y las diferencias encontradas están dentro del margen de variación estimado para la Red Gravimétrica Nacional.

La fuente ACIGEMI, para el área piloto, es de baja confiabilidad y, además, aumenta la incertidumbre en la reubicación de los puntos con el GPS, comparado con la fuente ECOPETROL. También evidencia que no se estandarizó la información por datum gravimétrico.

La fuente IGAC, para el área piloto, presenta una variación de 3 miligales entre + 1,5 miligales. Además, la información suministrada por el libro GRAVIMETRÍA 1998 es obsoleta en la medida que muchos de los puntos allí consignados no se encuentran en campo porque han sido destruidos.

Se recomienda para esta metodología, como para futuros trabajos gravimétricos, amarrar los levantamientos a la Red Gravimétrica Nacional de Segundo Orden.

La presente metodología se utilizará para todo el territorio nacional colombiano con el objeto de formar una base de datos gravimétrica oficial.

# de iteraciones	1			2			3		
	# Datos	Promedio	σ	# Datos	Promedio	σ	# Datos	Promedio	σ
ECOPETROL	19	-0,05	0,33	16	-0,02	0,23			
ACIGEMI	14	-15,12	1,97	11	-14,93			-14,7	
IGAC	24	0,03	0,61	20	0,06	0,39	17	0,03	0,26

Tabla 3. Cuadro que muestra el número de iteraciones necesarias por fuente para llegar a la desviación estándar patrón de 0,3 miligales.

CONFIABILIDAD		
ECOPETROL	84	%
ACIGEMI	64	%
IGAC	71	%

Tabla 4. Confiabilidad de las subbases de datos.

FUENTE	Líneas	Muestras	datos	%
ECOPETROL	51	19	481	4
ACIGEMI		14	857	2
IGAC	15	24	435	6

Tabla 5. Representatividad de la muestra respecto a la población (plan piloto).

FUENTE		DIFERENCIAS MEDIAS (MILIGALES)		LÍMITE SUPERIOR DIFERENCIAS		DELTA A CORREGIR EN DATOS FUENTE		DATOS A INCORPORAR POR FUENTE		% DE DATOS VALIDADOS
IGAC	24	0,06	2,50	-1,50	1,50	0	2,5	435	9.032	4,82
ECOPETROL	19	-0,02	1,60	-0,80	0,80	0	1,6	481	67.171	0,72
ACIGEMI	14	-14,93	10,00	-10,00	-20,00	14,93	9,00	857	17.960	4,77

Tabla 6. Avance en la Base de Datos Gravimétrica Oficial de INGEOMINAS.

BIBLIOGRAFÍA

CERÓN, J. F. 1997. Especificaciones Técnicas para Levantamientos de Gravimetría Terrestre. ECOPELROL. Bogotá.

GEOSOFT. 1994. GEOSOFT Mapping and Processing System. Geosoft Inc. Toronto.

GEOSOFT. 1994. Gravity Processing System. Geosoft Inc. Toronto.

IGAC. 1998. Gravimetría 1998. Santafé de Bogotá.

SCINTREX. 1989. Geophysical and Geochemical Instrumentation and Services. Scintrex Limited. Toronto.