

## LA GESTIÓN DE CALIDAD EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN CARTOGRÁFICA DEL CENTRO CONTROL CONTAMINACIÓN DEL PACÍFICO

Ingeniero Catastral y Geodesta Fernando Afanador Franco <sup>1\*</sup>

Ingeniero Industrial Hugo Alberto Camacho Galindo <sup>2\*</sup>

División de Zona Costera <sup>1\*</sup>. Oficina de Planeación Evaluación y Control <sup>2\*</sup>

Centro Control Contaminación del Pacífico - CCCP

Vía El Morro, Capitanía de Puerto, San Andrés de Tumaco, Nariño, Colombia

Tél: +57 (2) 727 26 37, Fax: +57 (2) - 727 11 80

e-mail: cccp@cccp.org.co

fafanador@cccp.org.co <sup>1\*</sup>

hcamacho@cccp.org.co <sup>2\*</sup>

*Recibido en noviembre de 2003; aceptado en diciembre de 2003*

### RESUMEN

La ausencia de metodologías de soporte para la gestión de la calidad de los procesos de producción cartográfica en el CCCP ha hecho necesaria la implementación de métodos y herramientas que orienten dichos procesos hacia la mejora continua y, por ende, hacia la conformidad con las especificaciones que se establezcan para la cartografía producida. La metodología incluyó la elaboración de un diagnóstico de calidad en los procesos de producción cartográfica; la definición de acciones de mejoramiento con base en los resultados; la implementación de las acciones de mejoramiento; la aplicación de los métodos y herramientas documentadas; una evaluación y seguimiento de los métodos y herramientas desarrolladas y, finalmente, una etapa de mejoramiento de dichos métodos y herramientas, con el fin de asegurar la eficacia y eficiencia de los procesos de producción cartográfica del Centro. Los resultados obtenidos son útiles para el CCCP dentro de su objetivo general de gestión de la calidad de la información científica producida. Los métodos y herramientas planteadas y aplicados en este estudio pueden ser aplicados por otras instituciones que utilicen cartografía digital y SIG; además, aportan a las discusiones del Comité Icontec 0034 (2000 a) para normalización de información geográfica en Colombia. Los métodos y herramientas establecidas son importantes para la Dirección General Marítima, DIMAR, y se deben aplicar en las unidades que produzcan cartografía digital con el fin de ofrecer productos cartográficos con altos estándares de calidad.

**Palabras claves:** Calidad, Cartografía Digital, Gestión de la Calidad, SIG, Estándares de Calidad, Metodología.

### ABSTRACT

The lack to the interior of the CCCP of support methodologies for the quality management of the cartographic production processes has made necessary the implementation of methods and tools that guide this processes toward the continuous improvement and toward the conformity with the specifications that settle down for the produced cartography. The used methodology included the elaboration of a quality diagnosis in the cartographic processes; the definition of improvement actions with base in the diagnosis results; implementation of the improvement actions; application of the methods and documented tools; and evaluation and pursuit of the methods and developed tools, and finally, a stage of improvement of this methods and tools with the purpose of assuring the effectiveness and efficiency of the processes of cartographic production of the CCCP. The obtained results are useful for the CCCP inside their general objective of quality management of the produced scientific information. The methods and outlined tools applied in this study they can be applied in other institutions that use digital cartography and SIG and they can be used as contributions to the discussions of the Committee Icontec 0034 (2000 a) for normalization of geographical information in Colombia. The methods and established tools are important for the Dirección General Marítima, DIMAR, and they should be applied in the units that produce digital cartography with the purpose of offering cartographic products with high standards of quality.

**Key words:** Quality, Digital Cartography, Quality Management, GIS, Quality Standards, Methodologie.

## INTRODUCCIÓN

El CCCP se ha encaminado, paulatinamente, hacia la implementación de un esquema de gestión de calidad que le permita planificar, controlar, asegurar y mejorar la calidad de los productos científicos generados dentro de su actividad investigativa; por tal razón, sus productos cartográficos no son ajenos a esta orientación, ya que dicha información es de vital importancia para la gestión de la DIMAR como autoridad marítima nacional.

La producción de cartografía en el CCCP utiliza como herramienta principal el Sistema de Información Geográfica SIG CARIS. Dado que estos sistemas maduran rápidamente y son cada vez más utilizados para diversidad de actividades, se hace necesaria la implementación de métodos y herramientas que conlleven a procesos de producción cartográfica hacia la mejora continua y el aseguramiento de la conformidad, de acuerdo con las especificaciones establecidas para los productos cartográficos generados.

Investigaciones y trabajos acerca de la calidad dentro del contexto de los SIG han sido desarrollados por varios investigadores como Kanti & Mrinal, Caprioli & Tarantino, Judd, Foote, Markham & Rix, Quartararo & Krohn; enfocados, especialmente, hacia el diseño de sistemas de control de la calidad para productos generados con SIG, establecimiento de estándares y procedimientos para la producción de información georeferenciada, aspectos generales de la calidad en aplicaciones de los SIG y técnicas para la estimación del costo de la calidad dentro del SIG. Se encuentran, además, contribuciones de textos como el de Congalton & Green (1996) de evaluación de la exactitud de datos obtenidos con sensores remotos, que presenta y explica los principios y prácticas básicas, y la publicación editada por Guptill & Morrison (1995), acerca de la calidad de datos espaciales en el cual se tratan temas específicos en profundidad.

Es por esta razón que el presente artículo muestra el trabajo realizado en materia de calidad de los productos generados con el SIG del CCCP dentro del marco teórico y práctico de gestión de la calidad.

## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende las poblaciones costeras de los departamentos del Valle del Cauca y Nariño.

## METODOLOGÍA

La gestión de calidad en los procesos de producción cartográfica se ha desarrollado con base en las siguientes etapas (Fig. 1).

### 1. Diagnóstico de calidad

En esta etapa se llevó a cabo un diagnóstico de la gestión de calidad en los procesos de producción cartográfica y se detectaron las oportunidades de mejoramiento de los mismos, con el fin de definir acciones que conllevarían a mejorar el desempeño de dicha producción.

En este diagnóstico se analizaron los siguientes temas:

- Responsable de los procesos.
- El propósito o el objetivo de los procesos; es decir, su razón de ser, el por qué y el para qué de su realización en el CCCP.
- Los límites de los procesos e interfases: ¿dónde comienzan y terminan? y ¿con qué otros procesos se relacionan?.
- El estado de documentación del proceso, procedimientos documentados, normas técnicas, especificaciones y registros.
- Los puntos o variables de control dentro de los procesos.
- Los indicadores de gestión que permitan medir el desempeño de los procesos con respecto a los resultados obtenidos.

Asimismo, se hizo una revisión al Documentación Estratégico del CCCP (CCCP, 2003), definido como el conjunto de acciones que orientan al Centro a futuro y hacia la adaptación con respecto al entorno en el cual se desarrolla, con el fin de lograr su continuidad en el tiempo como un centro de investigaciones. Dicho documento está conformado por la Misión, Visión, Principios y Objetivos Estratégicos de la institución.

Las líneas estratégicas de acción para el logro de la Misión y Visión del CCCP se orientan hacia los programas de investigación, específicamente hacia la generación de conocimiento científico sobre los recursos y procesos biofísicos en las áreas costeras y marinas del Pacífico colombiano, que le permita a la Autoridad Marítima Nacional y a las autoridades ambientales regionales y locales

desarrollar actividades relacionadas con la administración y control de las zonas costeras.

Finalmente, la revisión se concentró en el análisis de las actividades que se requería efectuar para el logro de los objetivos estratégicos dentro del Programa de Zonas Costeras del CCCP, por ser en éste donde opera el SIG y se desarrolla el Proyecto de Caracterización y Evaluación del Litoral Pacífico Colombiano. Una de las actividades de dicho programa es la generación de cartografía digital de las zonas costeras del Pacífico que se encuentran bajo la jurisdicción de la DIMAR.

La actividad de generación de cartografía, anteriormente mencionada, permitió plantear dos preguntas básicas: ¿Cómo asegurar la calidad de los productos cartográficos generados a través del SIG del CCCP? y ¿Cómo medir o evaluar esa calidad cartográfica?.

## 2. Definición de acciones de mejoramiento

Esta etapa consistió en definir acciones de mejoramiento, basadas en los resultados del diagnóstico de la calidad de los procesos de producción cartográfica del CCCP. Las acciones de mejoramiento definidas fueron:

### 2.1. Establecimiento de la matriz de procesos de producción cartográfica

Se estableció una matriz de procesos, en la cual se organizan los procesos de producción cartográfica de acuerdo a: macroproceso, proceso, subproceso y actividad (Harrington, 1992).

### 2.2. Definición de métodos y herramientas para el aseguramiento de la calidad cartográfica en el CCCP

La pregunta: ¿Cómo asegurar la calidad de los productos cartográficos generados a través del SIG del CCCP? generó la definición de métodos y herramientas que permitieran asegurar la calidad de los productos cartográficos del CCCP a saber:

#### 2.2.1. Especificaciones y procedimientos técnicos

Se documentaron las especificaciones y procedimientos necesarios para la realización de los

procesos de toma de datos en campo y para la elaboración de cartografía digital base y temática.

#### 2.2.2. Estándares de producción

Los estándares se orientaron hacia la satisfacción de la necesidad de mejorar la calidad de la información cartográfica que se produce, basados en las actividades de producción de la misma.

Dichos estándares permiten medir el desempeño de los procesos de producción cartográfica, de acuerdo con las necesidades de cartografía esperadas, teniendo en cuenta el talento humano, la infraestructura técnica y de servicios disponible actualmente para el CCCP. Esto, a su vez, permite comparar el nivel de desempeño esperado contra el real, para así tomar las acciones preventivas y correctivas del caso.

La metodología empleada para el establecimiento de los estándares de producción se basó en las siguientes etapas (Fig. 2):

##### 2.2.2.1. Identificación del área y de los subprocesos de producción en donde existe la oportunidad de mejorar

Corresponde al área de generación de cartografía digital base y temática con el SIG CARIS en el CCCP. Las actividades o subprocesos identificados dentro de esta área fueron:

- Subproceso de recopilación y selección de cartografía base (fuente).
- Subproceso de actualización cartográfica: realizado con la ayuda de imágenes de satélite SPOT, LANDSAT e IKONOS y la utilización de softwares especializados disponible en el CCCP (ERDAS y CARIS GIS).
- Subproceso de generación de cartografía digital utilizando el SIG CARIS.\*
- Subproceso de ploteo de borradores de la cartografía base y temática.\*
- Subproceso de supervisión cartográfica (controles de calidad de la cartografía).\*
- Subproceso de elaboración de las correcciones del control de calidad.\*
- Subproceso de segunda supervisión cartográfica.
- Subproceso de segundas correcciones.\*
- Subproceso de impresión final de la cartografía digital.\*

- Subproceso de almacenamiento digital y disposición final de mapas.

Los subprocesos marcados con asterisco (\*) corresponden a aquellos a los cuales se les definió su respectivo estándar de producción.

#### **2.2.2.2. Definición de los indicadores de monitoreo de los subprocesos de producción identificados**

Los indicadores son variables o atributos que se pueden medir; es decir, son los aspectos de los subprocesos de producción que se miden para describir los cambios o tendencias en un período de tiempo. Se describieron con base en aspectos cuantitativos de los subprocesos, de tal forma que se pudieran valorar rendimientos y niveles de producción para cada subproceso cartográfico.

#### **2.2.2.3 Establecimiento de los estándares y metas de producción**

Se definieron los siguientes aspectos:

- Identificación del problema o nivel de producción actual que se presenta en el respectivo subproceso dentro del CCCP.

- Justificación del establecimiento del estándar, determinando las consecuencias de no contar con un estándar para cada subproceso de producción cartográfica.

- Definición del estándar de acuerdo con tiempos promedio deducidos de la observación y medición de producciones anteriores.

- Establecimiento de las limitaciones para lograr el estándar en el respectivo subproceso de producción.

- Declaración formal de la meta de producción establecida para cada subproceso de producción.

#### **2.2.3. Metadatos cartográficos**

Los metadatos consisten en información que caracteriza datos. El metadato permite identificar, evaluar, acceder, usar y administrar datos geográficos. Son utilizados para suministrar información sobre datos producidos. En esencia, los metadatos intentan responder a las preguntas qué, cómo, cuándo, dónde, quién y por qué, sobre cada una de las facetas relativas a los datos que se documentan. Por ello, para asegurar que los datos sean utilizados correctamente, las presunciones y

limitaciones que han afectado su recolección deben ser completamente documentadas (Icontec, 2000b).

Los metadatos fueron desarrollados a través de una aplicación de MS Access®, siguiendo los lineamientos de la NTC 4611 del Icontec (2000b), y los conceptos básicos de calidad de la norma técnica DE 631/00 del año 2000 del mismo instituto (Icontec, 2000a).

La estructura general de contenido de los metadatos establecidos se puede apreciar en la Fig. 3 y está compuesta por dos grandes elementos: Calidad y Síntesis de Calidad. El primero de ellos agrupa los elementos, propiamente dichos, de calidad cartográfica como: exactitud posicional, exactitud temática, elementos de referencia espacial como proyección cartográfica y sus correspondientes parámetros geométricos. El segundo elemento comprende aspectos cualitativos de la cartografía como el propósito, fuentes de información, entidades, atributos y etapas de procesamiento.

El proceso de determinación e implementación de los metadatos de la cartografía digital base y temática descrita a continuación (Fig. 4):

- Identificación de los procesos básicos de producción de la cartografía digital base y temática en el CCCP (numeral 2.2.2.1.), que permite tener una idea clara y detallada de los aspectos técnicos que deben ser reportados en los metadatos y que, de una manera u otra, influyen en la calidad del mapa digital y en su aptitud de uso.

- Análisis de las especificaciones técnicas de la cartografía digital; es decir, las normas y procedimientos técnicos establecidos para la elaboración de cartografía digital base y temática (numeral 2.2.), que permite conocer de forma clara y detallada los aspectos técnicos que deben ser reportados en los metadatos y que influyen en la calidad del mapa digital y en su aptitud de uso.

- Organización y elaboración del reporte de metadatos cartográficos. El contenido del reporte de metadatos se organizó con base en la estructura presentada en la Figura 3. El diligenciamiento del reporte para cada mapa digital producido se llevó a cabo en una aplicación de formulario programado en MS Access®.

### 2.2.4. Definición de indicadores de gestión

Con respecto a la solución de la pregunta ¿Cómo medir o evaluar esa calidad cartográfica?, se optó por la utilización de indicadores correspondientes a pruebas aplicadas en un nivel de medición específico, para evaluar la calidad de datos geográficos en el SIG del CCCP.

La definición de los indicadores se basó en la utilización de la Ficha Técnica del Indicador (Tabla 1), herramienta que identifica sus principales aspectos para una mejor comprensión de su naturaleza y aplicación.

## 3. Implementación de las acciones de mejoramiento

Para implementar cada una de las acciones de mejoramiento se tuvo en cuenta lo siguiente:

### 3.1. Desarrollo del estudio de caso o proyecto piloto

El estudio de caso o proyecto piloto se desarrolló sobre 48 poblaciones costeras de los departamentos de Nariño (23 poblaciones) y Valle del Cauca (25 poblaciones), en la parte sur del Pacífico colombiano, por ser la zona costera más cercana y de más fácil acceso, teniendo en cuenta que el CCCP se encuentra localizado en Tumaco.

### 3.2 Aplicación de los métodos y herramientas documentados:

#### 3.2.1. Especificaciones y procedimientos técnicos

Las especificaciones y procedimientos técnicos actualmente se encuentran en proceso de revisión y ajuste, una vez terminado dicho proceso serán aplicadas permanentemente y actualizadas periódicamente en el CCCP.

#### 3.2.2. Estándares de producción

Estos estándares se encuentran en proceso de implementación.

#### 3.2.3. Metadatos cartográficos

Una vez desarrollada la aplicación informática de los metadatos cartográficos, se llevaron a cabo una serie de pruebas de aplicabilidad del software

con el fin de implementar dicha herramienta. Teniendo en cuenta que los resultados de aplicabilidad fueron aceptables se hizo su implementación.

Los metadatos fueron reportados para la cartografía digital de las 48 poblaciones costeras de los departamentos de Nariño y Valle del Cauca, como elemento fundamental para la documentación de la cartografía digital producida por el CCCP.

### 3.2.4. Indicadores de gestión

En relación con los indicadores de calidad, inicialmente sólo se aplicó el indicador de exactitud posicional (Exposi) de la cartografía base, de acuerdo con las siguientes etapas:

**3.2.4.1. Determinación de los puntos de muestreo**, es decir, aquellos puntos de los cuales era posible conocer exactamente su localización en la cartografía y en el terreno y que corresponden a puntos estables, fácilmente identificables en el terreno y en los mapas (esquinas de casas, cruces de vías, esquinas de puentes o muelles).

**3.2.4.2. Verificación en terreno de la posición** (coordenadas X, Y) de los puntos de muestreo por medio de levantamiento con GPS diferencial, para obtener exactitud posicional. Esta información fue referencia y comparada con la información de posiciones extractada de la cartografía digital.

**3.2.4.3. Cálculo del indicador** a través de la siguiente ecuación (Aronoff, 1998):

$$\text{Exposi} = \text{Error medio} + (1.645 \times \text{Desviación estándar del error medio})$$

Donde,

Error medio	$\frac{\sum(\text{error posicional})}{N}$
Error posicional	$\left[ \frac{[(Nm - Nt)^2 + (Em - Et)^2]}{2} \right]^{1/2}$
Nm	Coordenada Norte del punto obtenida del mapa.
Em	Coordenada Este del punto obtenida del mapa.
Nt	Coordenada Norte del punto obtenida en terreno.
Et	Coordenada Este del punto obtenida en terreno.
N	Número de puntos de control tomados.

Desviación  
estándar del  
error medio  
1.645

$$\sum(\text{error posicional} - \text{error medio})^2 / N ]^{1/2}$$

Valor de Z para un intervalo  
de confianza del 90% bajo  
la curva normal de distribución.

El indicador Expositivo fue aplicado a cada uno de los mapas base, escalas 1:1000 ó 1:2000, de las 48 poblaciones costeras de Nariño y Valle del Cauca.

Los demás indicadores de calidad no fueron aplicados debido a limitaciones de tiempo, personal y recursos económicos. No obstante, a corto plazo estos indicadores serán aplicados e implementados como parte de la gestión de calidad en el CCCP.

#### 4. Evaluación y seguimiento de los métodos y herramientas desarrolladas

Esta etapa comprendió los ajustes y correcciones a los procedimientos e indicador de exactitud posicional, resultantes de la aplicación de los mismos. En general, fueron ajustes de fondo en relación con algunas de las metodologías empleadas y criterios utilizados para definir las especificaciones técnicas.

#### 5. Mejoramiento de métodos y herramientas desarrolladas

Esta etapa comprende el mejoramiento de los métodos y herramientas desarrolladas, con el fin de asegurar la eficacia y eficiencia en los procesos de producción cartográfica del CCCP.

### RESULTADOS

Los resultados obtenidos con la evaluación y mejoramiento de los procesos de producción cartográfica del CCCP fueron:

#### 1. Caracterización del proceso de gestión cartográfica

De acuerdo con la matriz de procesos desarrollada se pudo caracterizar el macroproceso de gestión cartográfica, identificando claramente

proveedores, entradas, procesos de realización de la cartografía, clientes y controles (descripción responsable y frecuencia).

#### 2. Procedimientos documentados de los procesos de producción cartográfica

Los procedimientos documentados que se generaron para la gestión de la calidad de los procesos de producción cartográfica fueron:

##### 2.1. Especificaciones y procedimientos técnicos para la toma de datos en campo

Este documento se dividió en dos componentes:

- Especificaciones de los diversos equipos y técnicas empleadas en los levantamientos topográficos de las poblaciones costeras, que a su vez comprende diez especificaciones técnicas de la etapa preliminar de oficina (codificadas como SIG-NT-001 hasta SIG-NT-010); doce de la etapa de campo (SIG-NT-011 hasta SIG-NT-022), y tres para la etapa de oficina (SIG-NT-023 hasta SIG-NT-025).

- Procedimientos técnicos o formas de desarrollar las diversas actividades requeridas para efectuar los levantamientos topográficos de las poblaciones costeras. Este documento a su vez comprende nueve procedimientos para la etapa preliminar de oficina (SIG-PT-001 hasta SIG-PT-009); 22 de la etapa de campo (SIG-PT-010 hasta SIG-PT-031), y ocho para la etapa de oficina (SIG-PT-032 hasta SIG-PT-039).

##### 2.2. Especificaciones y procedimientos técnicos para la elaboración de cartografía digital base y temática

Al igual que en el resultado anterior, este documento se dividió en dos componentes:

- Especificaciones técnicas que debe cumplir la cartografía digital, comprende ocho especificaciones (SIG-NT-026 hasta SIG-NT-033).

- Procedimientos técnicos que se deben seguir para la producción cartográfica, compuestos por 19 documentos (SIG-PT-040 hasta SIG-PT-058).

### 3. Estándares de producción para la gestión cartográfica en el CCCP

Los estándares de producción y los indicadores de monitoreo obtenidos se muestran en la Tabla 3.

### 4. Metadatos de la cartografía digital base y temática producida en el CCCP

Los metadatos fueron reportados, tal como se mencionó anteriormente, en un aplicativo de MS Access® que se encuentra disponible en la división de Zonas Costeras del CCCP y se reportaron inicialmente para la cartografía digital, a escala 1:1000 y 1:2000, de las 48 poblaciones costeras asentadas en los Departamentos de Nariño y Valle del Cauca.

### 5. Indicadores de gestión

Los indicadores que se definieron se presentan en la Tabla 4.

## DISCUSIÓN

El presente trabajo de investigación aplicada no aborda en su totalidad las necesidades, objetivos particulares, productos, procesos, tamaño y estructura de la organización que influyen la gestión de la calidad en el CCCP. No obstante, el trabajo se constituye en la primera etapa dentro del proceso y requiere que sea continuado y complementado para lograr en corto plazo (uno o dos años más) la consolidación de la calidad.

De acuerdo con la NTC-ISO 9001:2000, uno de los principios de la gestión de calidad está orientado hacia la satisfacción de los requisitos del cliente o de las partes interesadas (Icontec, 2000c).

Actualmente, en el ámbito de la DIMAR no existe una exigencia formal de los requisitos que debe cumplir la cartografía, por ello es en el ámbito interno que se ha iniciado con la definición del nivel de calidad mínimo que deben cumplir los productos cartográficos para ser utilizados de la mejor forma posible y publicados oficialmente.

De otro lado, la aplicación práctica más inmediata que se prevé de las metodologías y herramientas desarrolladas y de los productos obtenidos se espera

sea en el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, CIOH, por ser ésta la organización responsable de proporcionar apoyo técnico, incluido el cartográfico, a las capitanías de puerto del Caribe colombiano en materia de control y administración de los bienes de uso público bajo jurisdicción de la DIMAR.

Dentro de las ventajas de contar con las especificaciones y procedimientos técnicos se encuentran las de unificación de conceptos técnicos de topografía y levantamientos; el proporcionar herramientas técnicas de comprobación; la posibilidad de escoger entre diferentes alternativas técnicas de trabajo; la verificación de datos y resultados, y la detección de fallas con base en los controles técnicos establecidos.

Por otra parte, las razones por las cuales se establecieron los estándares hacen referencia a que, en primer lugar, permiten valorar y comparar el rendimiento en la producción de cartografía digital; en segundo lugar, al disponer de una valoración del rendimiento en la producción es posible evaluar la calidad con la que se desarrollan las etapas de producción de la cartografía digital. Por último, contando con información sobre rendimientos y calidad cartográfica es posible lograr una mejor comprensión de las causas por las cuales se han logrado los rendimientos y resultados alcanzados, lo cual constituirá la forma inicial para la toma de correctivos y decisiones en materia de producción cartográfica.

Los estándares se encuentran en etapa de implementación, lo cual no permite, en el momento actual, discutir en detalle sobre hallazgos en este campo.

Igualmente, relacionado con la gestión de la calidad se encuentra el concepto de calidad de datos geográficos, en el cual la exactitud posicional y los reportes de calidad forman parte de los llamados componentes de micronivel y macronivel, respectivamente (Aronoff, 1998).

Los metadatos se enmarcan dentro de los principios generales de descripción de la calidad de un conjunto de datos. Una vez documentados para la cartografía digital de las poblaciones costeras de Nariño y el Valle del Cauca se hace evidente la necesidad de automatizar aún más su funcionalidad.

Dado que el aplicativo desarrollado en MS Access® no cuenta con la posibilidad de ser

relacionado y consultado directamente con cada uno de los mapas digitales a los que corresponde, la perspectiva que se vislumbra es la de habilitar esta posibilidad a través de mejoras en la aplicación con el fin de conformar una cartografía enteramente digital. En relación con el indicador de exactitud posicional, por simplicidad se consideraron las distancias absolutas entre las posiciones del mapa y las del terreno, en lugar de utilizar una evaluación separada del error en el eje X y el error en el eje Y. Igualmente, se utilizó como variabilidad de las medidas de los errores la desviación estándar, que decrece cuando los errores y sus incrementos son pequeños. Esta propiedad de la desviación estándar incorpora confiabilidad en la medida de los errores cuando se toman varios puntos de control.

Entre los supuestos estadísticos adoptados para la prueba de exactitud posicional se encuentran: (i) que los errores se distribuyen aleatoriamente sobre la totalidad del mapa; (ii) que los puntos de control seleccionados son representativos de todo el mapa; (iii) se asume que la distribución de probabilidad normal es apta para predecir la precisión del mapa; (iv) que la aplicación del indicador involucra una comparación de lo evaluado con una fuente independiente de alta exactitud posicional como lo es el DGPS (GPS diferencial).

La aplicación del indicador de exactitud posicional a las poblaciones costeras del área de estudio (Tabla 2) muestra que una de las posibles causas del bajo nivel de aprobación de mapas (tres de 48) puede relacionarse con la época en que fue levantada la cartografía (1996 y 1997), sin contar para ello con especificaciones y procedimientos técnicos para toma de datos en campo, completamente definidos y establecidos, que permitieran verificar la calidad de los mismos.

A este mismo respecto, otra causa a considerar es la dinámica de las poblaciones costeras, dado el carácter de construcciones palafíticas, que impera en el litoral Pacífico colombiano, que hace cambiantes las construcciones; especialmente en su forma geométrica y extensión, tal como fue comprobado a través de una verificación hecha en campo durante el 2003 (seis de 48 poblaciones no pudieron ser verificadas por evidentes cambios). Este último aspecto dificulta la toma exacta de puntos de control en el terreno que han sido previamente identificados en la cartografía digital.

En igual sentido, el alto nivel de mapas no aprobados (22 de 48) permite inferir dos posibles causas técnicas: la primera de ellas es que el error medio permitido para la escala del mapa es difícil de alcanzar para las condiciones técnicas en que fue levantada la cartografía; y, como segunda causa, que el intervalo de confianza asumido en la distribución normal de los errores es, igualmente, difícil de alcanzar en la cartografía evaluada.

Por otra parte, las condiciones naturales de acceso a las poblaciones costeras cartografiadas, especialmente los niveles de marea, impiden efectuar el proceso de verificación y toma de puntos de control.

Por lo anterior, es necesario hacer un análisis de las causas que influyeron sobre la calidad de la cartografía obtenida, ya que dicha información fue levantada en años anteriores y tal vez no se utilizaron métodos estandarizados que garantizaran que los productos resultantes cumplirían con los requisitos especificados. Sin embargo, los datos obtenidos se han considerado como la línea de base para el mejoramiento de la calidad de los productos cartográficos generados por el CCCP.

Otro punto importante a considerar con la evaluación de la calidad de los procesos cartográficos es la capacidad metrológica de los dispositivos de medición utilizados para la generación de cartografía base y temática, debido a que estos equipos afectan sustancialmente la calidad de los productos obtenidos. Por ello se hace indispensable desarrollar métodos de calibración de las estaciones topográficas, los GPS, las mesas digitalizadoras y el plotter, de tal forma que se puedan asegurar las mediciones realizadas con la exactitud y precisión requerida, y así disminuir la incertidumbre de medición (Mendenhall y Reinmuth, 1981).

En cuanto a indicadores de calidad utilizados, con este trabajo aplicado se hace una primera medición; sin embargo, hay que tener en cuenta que la precisión de un resultado obtenido con un indicador no se logra a la primera vez (Beltrán y Mauricio, 1998). Por lo anterior, es necesario analizar cuantas veces sea necesario temas como: el umbral establecido para la medición, la pertinencia del indicador, las fuentes de información seleccionadas, la frecuencia de la medición y el método de trabajo para obtener la información.



Otro aspecto que se consideró en la utilización de los indicadores fue que éstos deberían obedecer a un nivel de gestión (estratégico, táctico u operativo), con el fin de determinar si los procesos y subprocesos utilizados para la producción cartográfica permiten alcanzar los resultados planificados y, por otra parte, verificar el cumplimiento de los requisitos del producto cartográfico. De esta forma el indicador de exactitud posicional y los estándares de producción definidos se enmarcan dentro del esquema de medición de la gestión del CCCP.

Las metodologías empleadas y los productos obtenidos dentro de este trabajo pueden ser aplicados en otras organizaciones, tanto públicas como privadas que produzcan y utilicen cartografía digital y SIG. En tal sentido, los aportes de este estudio podrían funcionar como aportes técnicos al interior del Comité Icontec 0034, en la normalización de la información geográfica en Colombia (2000a).

Las acciones futuras en cuanto al mejoramiento de la calidad de los procesos de producción cartográfica se deben orientar hacia la formación del personal en temas de calidad y técnicas para el aseguramiento de la calidad cartográfica; la utilización de las herramientas y métodos desarrollados; buscar la participación activa de la DIMAR en el seno del Comité Icontec 0034 (2000a), y orientar el uso de tecnologías de punta que permitan obtener información actualizada de una manera confiable, ágil y económica.

Finalmente, el aporte de este trabajo radica en la utilidad de los resultados obtenidos para la gestión de calidad del CCCP. De esta forma, se contará con especificaciones y procedimientos técnicos debidamente establecidos y documentados, tiempos estandarizados para la producción cartográfica, y reportes de exactitud y de calidad para la cartografía digital.

## CONCLUSIONES

- Las especificaciones y procedimientos técnicos, tanto para toma de datos en campo como para la generación de cartografía digital, conforman una herramienta de consulta didáctica que puede ser

abordada por cualquier persona con un mínimo de conocimientos previos.

- Las especificaciones y procedimientos técnicos establecidos requieren de ajustes, adaptaciones y actualizaciones, dentro del ambiente de trabajo del CCCP, con el fin de lograr una aplicación óptima y funcionalidad adecuada.

- Los estándares de producción definidos para la generación de cartografía base y temática requieren una implementación y evaluación como base para la toma de acciones correctivas dentro del proceso de producción cartográfica. No obstante, los estándares requerirán de ajustes y adaptaciones de acuerdo con la disponibilidad de talento humano y los recursos técnicos del CCCP.

- Los metadatos se deben crear porque ayudan a publicitar y dar soporte técnico y científico a los mapas digitales producidos por el CCCP. Los metadatos de la cartografía digital base y temática permiten describir totalmente los mapas digitales que se han producido, de manera que los usuarios directos y potenciales puedan entender las presunciones y limitaciones; y, a la vez, evaluar la aplicabilidad de los mapas digitales para el uso específico de su interés.

- Se requiere efectuar un análisis adicional de lo adecuado del error medio permitido y el intervalo de confianza, adoptado para el cálculo del indicador de exactitud posicional de la cartografía, dadas las necesidades cartográficas que tiene la DIMAR para la administración y control de los bienes de uso público bajo su jurisdicción. Si, en el corto o mediano plazo, no se analizan estas consideraciones los resultados obtenidos con el sistema de indicadores definido no estarán acordes con las necesidades de mejoramiento que surjan y por ende evaluar la calidad de la cartografía producida en el CCCP se tornará costosa.

- La evaluación realizada a la cartografía generada por el CCCP es de vital importancia para el mejoramiento de los productos cartográficos, ya que para asegurar la calidad de dicha información se deben tener en cuenta variables como: la formación del personal, la capacidad metrológica de los equipos, los estándares nacionales e internacionales, los métodos utilizados para la producción de cartografía y las condiciones geográficas de acceso a los puntos de control en terreno, entre otras variables.

- Como consecuencia de todo lo anterior, se debe realizar, en el corto y mediano plazo, una referenciación competitiva (benchmarking) (Mariño, 2001) con otras instituciones o centros de investigación nacionales o internacionales que generen productos cartográficos y, en general, en los aspectos técnico, científico y organizacional con el fin de asimilar las experiencias y conocimientos de los mejores.

- A pesar que, en general, la evaluación de la exactitud posicional de la cartografía de poblaciones costeras levantadas no es aceptable según los estándares establecidos, estos mapas son elementos valiosos como referencia temporal y espacial para la DIMAR, las capitanías de puerto y las autoridades regionales y locales; especialmente, si se tiene en cuenta que es la única cartografía de detalle (construcciones, línea de costa, zonas de manglar a escalas entre 1:1000 y 1:2000) que se tiene en el país.

- Con la realización de este trabajo de aplicación se observó que para generar productos cartográficos de calidad se deben controlar los procesos de producción cartográfica teniendo en cuenta el ciclo de mejoramiento: planear, hacer, verificar y actuar; ya que la producción de cartografía se debe hacer de forma planificada y sistémica debido, principalmente, a las condiciones geográficas, técnicas y humanas existentes en el CCCP.

- De acuerdo con los resultados obtenidos y la discusión efectuada en el presente estudio, es necesario definir un plan de aseguramiento metrológico de los dispositivos de medición utilizados en los procesos de producción cartográfica, para así lograr mediciones que permitan obtener datos confiables dentro del proceso de evaluación de la calidad cartográfica.

- Los métodos y herramientas establecidas para la gestión de calidad de los procesos de producción cartográfica son importantes para la DIMAR y se deben aplicar, permanentemente, en todas las unidades que produzcan cartografía, ya que con ello se logrará ofrecer productos cartográficos con altos estándares de calidad, tanto para la comunidad científica como para la entidades públicas y privadas que requieran esta información.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al ingeniero de sistemas Fredy Rodríguez Garavito, por su valiosa y decidida contribución en la elaboración de la aplicación de metadatos cartográficos; así como a los estudiantes de Ingeniería Topográfica Javier Geovanny Méndez y César Meneses Delgado, e Ingeniería Catastral y Geodesia Luis Alejandro González Muñoz, por su aporte en la elaboración de las especificaciones y procedimientos técnicos mencionados en este artículo.

Igualmente, al personal de la Sección de Levantamientos y SIG del CCCP, por su apoyo en la obtención de datos. Y a los revisores externos por sus orientaciones y recomendaciones para el buen término de esta investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Aronoff, S. 1998.** Geographic Information Systems: A Management Perspective. WDL Publications, Ottawa, Canadá.

**Beltrán, J. y J. Mauricio. 1998.** Indicadores de Gestión, Herramientas para Lograr la Competitividad. 3R Editores, Bogotá, 144 pp.

**Caprioli, M. & E. Tarantino.** Standards and Quality in GIS Contexts. [en-línea] URL: [http://www.fig.net/figtree/pub/fig\\_2003/TS\\_10/TS10\\_2\\_Caprioli\\_Tarantino.pdf](http://www.fig.net/figtree/pub/fig_2003/TS_10/TS10_2_Caprioli_Tarantino.pdf). [Consulta: 6 octubre 2003].

**Centro Control Contaminación del Pacífico. 2003.** Plan Estratégico 2002-2010. San Andrés de Tumaco : CCCP, Colombia.

**Congalton, R. & K. Green. 1996.** Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. Lewis Publishers, 137 pp.

**Foote, K.** Managing Error. [en línea] URL: <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/manerror/manerrorf.html> [Consulta: 30 septiembre 2003].

**Guptill, S. & J. Morrison. 1995.** Elements of Spatial Data Quality. International Cartographic Association, 197 pp.

**Harrington, J. 1992.** Mejoramiento de los Procesos de la Empresa, Mc Graw Hill, Bogotá, 299 pp.

**Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. 2000a.** Información Geográfica. Conceptos

Básicos de Calidad. Proyecto de Norma Técnica Colombiana DE 631/00. Bogotá : Icontec, Colombia.

**Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. 2000b.** Información Geográfica. Metadatos. Proyecto de Norma Técnica Colombiana NTC 4611 (primera actualización). Bogotá : Icontec, Colombia.

**Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. 2000c.** Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 9001. Bogotá : Icontec, Colombia.

**Judd, D.** Ensuring Quality Control in a GIS Production Environment. [en-línea] zURL: <http://www.eomonline.com/Common/Archives/Nov95/juddhtm.c> [Consulta: 30 septiembre 2003].

**Kanti, G. & Mrinal.** Product Quality Assurance for GIS life-cycle.[en-línea] URL: <http://www.gisdvelopment.net/technology/gis/techgi0042pfhtm> [Consulta: 23 marzo 2002].

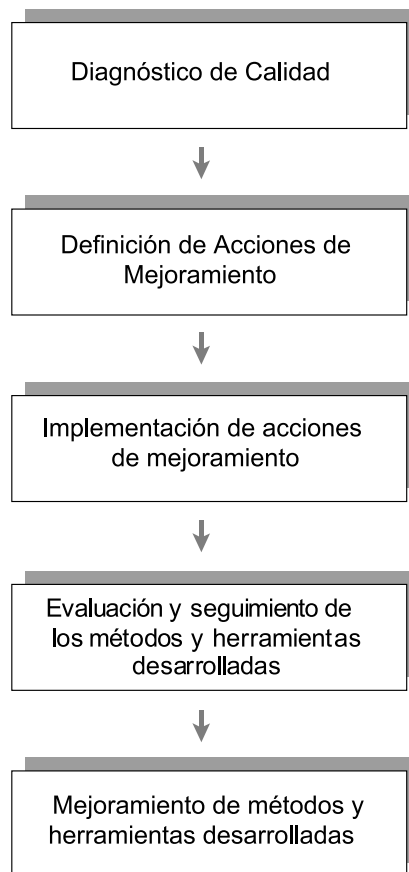
**Mariño, H. 2001.** Gerencia de Procesos. Alfaomega, Bogotá, 147 pp.

**Markham, R. & D. Rix.** GIS - The Need for Quality [en línea] URL: <http://www.sgi.ursus.maine.edu/gisweb/spatdb/egis/eg94130html> [Consulta: 2 octubre 2003].

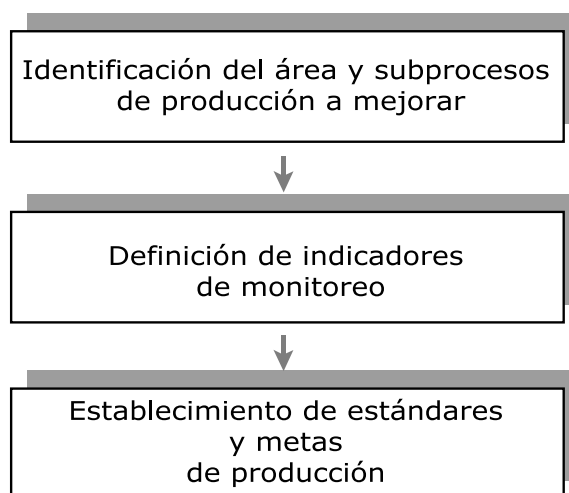
**Mendenhall, W. y J. Reinmuth. 1981.** Estadística para Administración y Economía. Grupo Editorial Iberoamérica, 707 pp.

**Quartararo, A. & M. Krohn.** The Cost of Quality in Enterprise GIS. [en-línea] URL: <http://www.directionsmag.com/article.php?articleid=44> [Consulta: 2 octubre 2003].

## FIGURAS Y TABLAS



**Figura 1.** Etapas metodológicas para la gestión de calidad en los procesos de producción cartográfica.



**Figura 2.** Metodología para el establecimiento de los estándares de producción cartográfica.

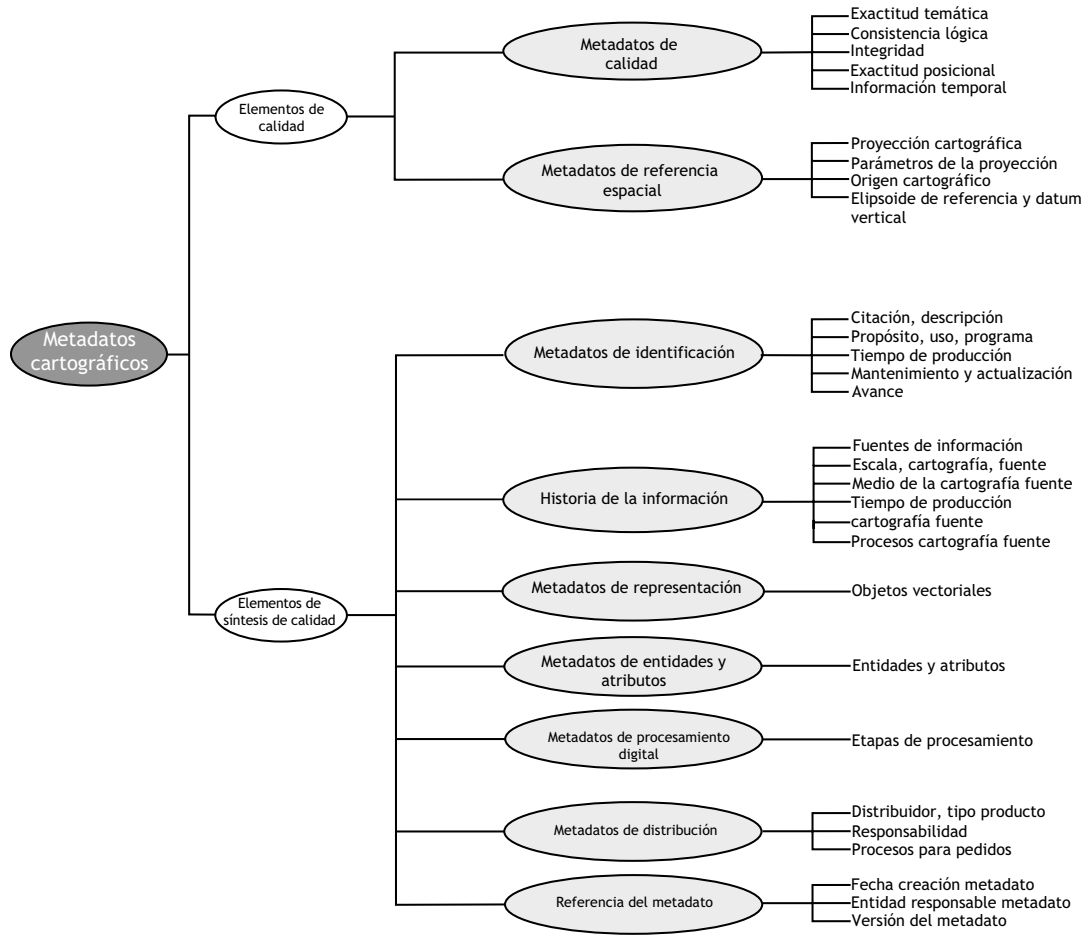


Figura 3. Estructura general de los metadatos cartográficos.



Figura 4. Proceso de determinación e implementación de los metadatos.

Tabla 1. Ficha técnica del Indicador. Ficha Técnica del Indicador

<b>Nombre del Indicador</b>	Defina el nombre del indicador con el fin de que exprese la característica que se desea medir o controlar.
<b>Objetivo del Indicador</b>	Es decir, lo que se quiere lograr con el control de dicho indicador.
<b>Tipo de Indicador</b>	Eficiencia <input type="checkbox"/> Eficacia <input type="checkbox"/> Calidad <input type="checkbox"/>
	Productividad <input type="checkbox"/> Costo <input type="checkbox"/> Cantidad <input type="checkbox"/>
<b>Variable de Medición</b>	Determine la variable objeto de medición.
<b>Criterio de Evaluación</b>	Especifique si se trata de comparar contra un estándar, histórico, plan, etcétera.
<b>Expresión Matemática</b>	Escriba la fórmula que permite obtener el valor del indicador. Si no existe fórmula matemática, se debe escribir 'Comparación contra un estándar (nacional o internacional)'
<b>Fuentes de Información</b>	Determine áreas que se van a involucrar en la obtención del indicador: suministrar datos, generar datos, tomar decisiones, etcétera.
<b>Frecuencia de Evaluación</b>	Determine la periodicidad de evaluación del indicador (diaria, semanal, quincenal, mensual, anual, etcétera).
<b>Mecanismo de Trabajo</b>	Determine el mecanismo mediante el cual se va a obtener y manejar la información relacionada con las variables que componen el indicador.
<b>Interpretación</b>	Establezca con claridad qué quiere decir el indicador.
<b>Responsable</b>	Determine quién observa el indicador y establece decisiones de acción.

Tabla 2. Resumen de los resultados de la aplicación del Indicador Exposi.

Departamento	Mapas aprobados	Mapas no aprobados	Mapas sin aplicador del indicador			Total mapas evaluados
			POR CAMBIOS EN LA POBLACIÓN	POR CAMBIOS DE ORDEN PÚBLICO	INCONVENIENTES TÉCNICOS	
Nariño	1	7	4		11	23
Valle del Cauca	2	15	3	2	3	25

**Tabla 3.** Estándares de producción, indicadores de monitoreo y metas de producción establecidas en el CCCP.

Estándar de producción	Valor establecido del estándar						Indicador de medición asociado	Meta Establecida
	Cartografía base			Cartografía Temática				
	Escalas 1:500 a 1:2000	Escala 1:25000	Escalas 1:25000 a 1:250000	Escalas 1:500 a 1:2000	Escala 1:25000	Escalas 1:25000 a 1:250000		
Estándar de producción de la cartografía digital base y temática utilizando SIG CARIS.	16 h	24 h	32 h	8 h	16 h	24 h	Rendimiento de generación = (No. real de planchas digitales producidas / No. de planchas digitales esperado) x 100.	El tiempo de producción de un mapa base digital o temático, dentro de los ocho meses siguientes (hasta el mes de diciembre de 2003), será de 8, 16, 24 ó 32 horas, dependiendo del rango de escala en el que se encuentre, según lo establecido en el presente estándar.
Estándar de producción del ploteo de borradores de la cartografía digital base y temática utilizando SIG CARIS.	15 min	30 min	45 min	15 min	30 min	45 min	Rendimiento de ploteo = (No. real de planchas digitales ploteadas / No. de planchas digitales ploteadas esperado) x 100.	El tiempo de impresión de un mapa base o temático digital, dentro de los ocho meses siguientes (hasta el mes de diciembre de 2003), será de 15, 30 ó 45 minutos, dependiendo del rango de escala en el que se encuentre, según lo establecido en el presente estándar.
Estándar de producción de la supervisión cartográfica (controles de calidad de la cartografía).	1 h	2 h	2 h	1 h	2 h	2 h	Rendimiento supervisión = (No. de planchas supervisadas / No. total de planchas digitales generadas) x 100.	El tiempo empleado para efectuar la primera etapa de supervisión cartográfica de impresión de un mapa base o temático digital, dentro de los ocho meses siguientes (hasta el mes de diciembre de 2003), será de 1 ó 2 horas, dependiendo del rango de escala en el que se encuentre, según lo establecido en el presente estándar.
Estándar de producción de la elaboración de correcciones del control de calidad de la cartografía digital.	1 h	2 h	2 h	30 min	2 h	2 h	Rendimiento de correcciones = (No. real de planchas digitales corregidas / No. esperado de planchas digitales corregidas) x 100.	El tiempo empleado para efectuar las correcciones a la cartografía digital, base y temática dentro de los ocho meses siguientes (hasta el mes de diciembre de 2003), será de 30 minutos, 1 ó 2 horas, dependiendo del rango de escala en el que se encuentre, según lo establecido en el presente estándar.

Estándar de producción	Valor establecido del estándar						Indicador de medición asociado	Meta establecida
	Cartografía base			Cartografía Temática				
	Escalas 1:500 a 1:2000	Escala 1:25000	Escalas 1:25000 a 1:250000	Escalas 1:500 a 1:2000	Escala 1:25000	Escalas 1:25000 a 1:250000		
Estándar de producción para la etapa de segunda supervisión cartográfica.	1 h	1 h	1 h	1 h	1 h	1 h	Rendimiento supervisión (2) = (No. de planchas supervisadas / No. total de planchas digitales generadas) x 100.	El tiempo empleado para efectuar la segunda supervisión cartográfica, dentro de los ocho meses siguientes (hasta el mes de diciembre de 2003), será de 1 hora, sin importar el rango de escalas en el que se encuentre.
Estándar de producción de la elaboración de segundas correcciones del control de calidad de la cartografía digital.	30 min	1 h	1 h	15 min	1 h	1 h	Rendimiento de correcciones (2) = (No. real de planchas digitales corregidas / No. esperado de planchas digitales corregidas) x 100.	El tiempo empleado para efectuar las segundas correcciones a la cartografía digital base y temática, dentro de los ocho meses siguientes (hasta el mes de diciembre de 2003), será de 15 minutos, 30 minutos ó 1 hora, dependiendo del rango de escala en el que se encuentre, según lo establecido en el presente estándar.
Estándar de producción de la impresión final de la cartografía digital base y temática utilizando SIG CARIS.	15 min	30 min	45 min	15 min	30 min	45 min	Rendimiento impresión final = (No. real de planchas digitales ploteadas / No. de planchas digitales ploteadas esperado) x 100.	El tiempo de impresión final de un mapa base o temático digital, dentro de los ocho meses siguientes (hasta el mes de diciembre de 2003), será de 15, 30 ó 45 minutos, dependiendo del rango de escala en el que se encuentre, según lo establecido en el presente estándar.



Tabla 4. Indicadores de calidad establecidos para la cartografía digital y bases de datos asociadas.

Indicador	Variable	Objetivo	Criterio	Frecuencia de evaluación	Expresión	Mecanismo de trabajo	Interpretación
Exactitud posicional de la cartografía base.	Producción de cartografía base.	Establecer la calidad de la cartografía base en términos de exactitud posicional.	Comparación del 'Exposi' contra los Requisitos Estándar de Exactitud Cartográfica. (error máximo permitido de 0.5 mm. de la escala de publicación).	Anual (cambio área de trabajo) por cada uno de los mapas base.	$\text{Exposi} = \frac{\text{Error medio} + (1.645 \times \text{Desviación estándar del error medio})}{\text{escala}}$	Determinación de puntos de muestreo (puntos de los cuales se conoce exactamente su localización real en el espacio) en cartografía y campo.  Verificación posición (coordenadas X, Y) de puntos en terreno (GPS).	Indica el grado de variación o exactitud de las posiciones de los datos espaciales digitales, con respecto a las verdaderas posiciones de los elementos en el terreno.
Exactitud de la cartografía temática.	Producción de cartografía temática.	Establecer la calidad en la clasificación de la cartografía temática producida dentro del SIG CARIS.	Comparación de 'K' contra un estándar preestablecido ( $>=70\%$ Aceptable; $<70\%$ No aceptable).	Anual (cambio área de trabajo) por plancha y para cada uno de los temas involucrados en los bloques de información del proyecto.	$K = \frac{[(d-q)/(N-q)] \times 100}{\text{donde } q = \sum (n_{ij} n_{ji}) / N}$  $d = \text{Número de casos en la diagonal de la matriz.}$  $q = \text{Número de casos esperados en la diagonal por azar.}$  $n_{ij} = \text{Sumatoria de columna.}$  $n_{ji} = \text{sumatoria de fila.}$  $N = \text{Número total de casos o puntos muestreados.}$	Determinación de puntos de muestreo aleatorios en cartografía y campo.  Verificación posición de puntos en terreno (GPS) y determinación del tipo o clase a la que pertenecen.  Elaboración y cálculo de la Matriz de Error.	El indicador expresa la cercanía de la clasificación de las unidades temáticas del mapa con su condición en el terreno, descontando las coincidencias en la clasificación por el azar.
Exactitud información base de datos asociada.	Base de datos asociada (SIG CARIS).	Establecer la calidad de la información almacenada en las bases de datos asociadas a la cartografía temática del SIG CARIS.	Comparación de 'EIBDA' contra un estándar preestablecido ( $>=70\%$ aceptable $<70\%$ No aceptable).	Anual (cambio área de trabajo) y para cada uno de los temas del proyecto.	$\text{EIBDA} = \left( \frac{\text{número de registros correctamente introducidos} / \text{Número total de registros muestreados}}{\text{escala}} \right) \times 100$	Selección de registros a verificar en cada una de las tablas digitales temáticas del proyecto.  Verificación de la coincidencia del contenido de los registros contra la versión escrita de las tablas (listados).  Cálculo del indicador.	Proporciona el porcentaje de registros correctamente ingresados al sistema de tablas digitales asociadas en el SIG CARIS, con respecto al contenido verdadero en la respectiva fecha de verificación.