**Documento Técnico de Calidad Insumos: Imágenes satelitales**

**Gerardo H. Terrazas González**

**Ulises Pastrana Estrada**

**Jazmín Karely Ahumada Ruiz**

**Jocabet De la Rosa Gudiño**

**Índice**

1. **Introducción - Antecedentes**
2. **Subproceso 1: *Imágenes Satelitales***
3. **Revisión de Calidad de los insumos: Imágenes Satelitales**
	1. **Revisión de atributos en las Imágenes Satelitales.**
	2. **¿Cuáles son de estándares técnicos de las Imágenes Satelitales?**
	3. **Componentes de calidad en Imágenes Satelitales.**
		* **Linaje**
		* **Completitud**
		* **Consistencia lógica**
		* **Precisión temporal**
		* **Precisión de atributos**
		* **Precisión posicional**
	4. **Indicadores de calidad de los atributos medidos.**
4. **Resultados de análisis de Calidad “Estudio de caso Piloto Jalisco”.**
5. **Sugerencias.**
6. **Referencias.**

**DOCUMENTO DE TRABAJO**

1. **Antecedentes:**

En los avances que ha tenido la cartografía en general, las imágenes de satélite han iniciado desde finales del siglo pasado a la fecha, un papel muy importante e intenso en las aplicaciones relativas al conocimiento de la tierra en general. Es quizá en los últimos años que, con las diferentes opciones de sensores disponibles, donde hay opciones de selecciones de imágenes que aplican a diversos tipos de proyectos, objetivos y usuarios de la información geográfica.

Como simple definición, una **imagen satelital** es una fotografía tomada por un satélite artificial, **que** muestra la geografía de un territorio específico, ya sea una ciudad, un país o simplemente de una zona de interés. La representación visual es capturada por un sensor, los cuáles recogen la información reflejada por la superficie de la tierra y posteriormente procesada.

Como insumo, las imágenes de satélite tienen varios usos en áreas como la meteorología, oceanografía, agricultura, biodiversidad, geología planeación regional, educación, y muchas más relacionadas con ciencias naturales, sociales y económicas.

En el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) las imágenes de satélite tienen una gran importancia en los programas de generación de información valiosa a nivel nacional. La Norma Técnica del Sistema Geodésico Nacional, fue publicada el 23 de diciembre del 2010 en el diario oficial de la federación, la cual tiene por objeto “establecer las disposiciones mínimas que definen el Sistema Geodésico Nacional, a partir de las cuales es posible integrar el Marco de Referencia Geodésico, a fin de establecer las condiciones necesarias para que el marco se homogéneo y comparable; tomando en cuenta la mejores prácticas internacionales”. En dicha norma se establece la necesidad de contar con una rede geodésica nacional cuyo insumo primordial son imágenes de satélite.

Los diferentes programas y proyectos realizados por el INEGI, usa como insumo las imágenes de satélite; algunos de ellos son:

* Red Nacional de Caminos
* Uso de Suelo y Vegetación
* Hidrografía
* Marco geo-estadístico Nacional

Los alcances y aplicaciones de las imágenes satelitales en diversos programas serán cada vez más diversos y necesarios para la planeación y ejecución de programas de interés Nacional.

.

1. **Subproceso 1: Imágenes de Satélite**

El INEGI ha desarrollado tareas de planeación y estudio del territorio nacional, en gran medida, usando imágenes satelitales. El estudio de territorio incluye la localización de zonas de producción agrícolas, ganaderas y silvícolas; recursos del mar; depósitos minerales, y en la planeación, las obras de desarrollo como la red nacional de caminos, por mencionar algunos de ellos. Tener el conocimiento debido de los recursos naturales es importante ya que es muestra de clara de lo que puede proponerse para desarrollo de infraestructura y la implementación a seguir para su correcto funcionamiento. Si bien muchos de los proyectos se realizan de manera conjunta entre INEGI y otras instancias nacionales, como proveedor de servicios, el INEGI debe contar con los recursos necesarios (insumos Imágenes de Satélite) que garantices su participación eficiente.

Conocer la distribución espacial de los recursos permite tener más claro los alcances de proyectos productivos y su efecto potencial social y económico a los diferentes niveles de alcance - regional y nacional. Las Imágenes de Satélite juegan un papel primordial ya que a través de los análisis Fotogramétricos se logra contar con la información requerida (y planeada con antelación) para realizar los análisis y cuantificaciones respectivos que requieran el (o los) proyectos para los cuales fueron requeridas. Como es notorio, las Imágenes de Satélite son insumos de gran valor para realizar las tareas iniciales; cabe destacar que regularmente durante el desarrollo del proyecto habrá que realizar visitas de campo que a su vez las Imágenes de Satélite podrán ayudar en la planeación de dicha actividad.

La elección de usar Imágenes de Satélite depende en gran medida de la extensión del área de estudio; si es muy extenso, el uso de las Imágenes de Satélite suele ser una buena opción ya que resulta tener menos costo y eficiente (menor tiempo) que si se lleva a cabo una planeación de vuelos con fotografías aéreas. El tema de calidad, similar al caso en fotografías aéreas, se discute en secciones posteriores del escrito.

1. **Revisión de Calidad de los insumos: Imágenes de Satélite**

Personal especializado en Imágenes de Satélite, realiza la tarea de las propiedades y atributos de acuerdo a estándares técnicos establecidos para las Imágenes de Satélite. Dichos estándares se darán en su momento para verificar la calidad de las Imágenes a través de los atributos que deben medirse. El personal, dada su especialización, lleva a cabo la revisión correspondiente siguiendo un diseño logístico establecido en la Dirección General; principalmente las áreas administrativas correspondientes a la planeación de colecta de las Imágenes de Satélite.

El primer paso (procedimiento) es llevar a cabo la planeación del proyecto que a su vez consta de diferentes tareas. Como suele ser en los proyectos que concierne a las actividades topográficas, se inicia con la recepción de los requerimientos (las especificaciones técnicas del área solicitante – una de ellas el subproceso de Aero-triangulación), lo que conduce a realizar una revisión de la disponibilidad de la información. A partir de esta parte, se siguen protocolos que van desde la revisión de efemérides pasando por la colecta y hasta la entrega de las imágenes satelitales. El siguiente cuadro, resume las tareas a seguir en el procedimiento de planeación.

Cuadro1. Descripción del procedimiento de planeación de Insumos en el Subproceso de Imágenes Satelitales del Mapa Topográfico. Fuente: Elaboración Propia.

|  |
| --- |
| **Procedimiento 1** |
| **Planeación de la imágenes satelitales** | **inIS.1.1**Recepción y análisis del requerimiento trabajo | **inIS.1.2**Análisis de la disponibilidad del insumo (telemetría/imágenes de archivo) | **inIS.1.3**Actualización (Revisión) de efemérides | **inIS.1.4**Límites Territoriales |
| **inIS.1.5**Elaborar pronósticos de nubosidad | **inIS.1.6**Envío de propuesta de planeación | **inIS.1.7**Control de cobertura de avance | **inIS.1.8**Revisión de Reporte de uso de telemetría de EVISMAR |

Durante el proceso de planeación, como puede notarse en la figura anterior, Los principales procedimientos consisten en:

* Revisión de efemérides.
* Condiciones climáticas (pronóstico de nubosidad).
* Simulación de la colecta de Imágenes.
* Colecta de Imágenes.
* Revisión de Imágenes.
* Entrega de Imágenes.

El cuadro 2 muestra las tareas de revisión de las efemérides para las Imágenes de Satélite; en este caso particular para el piloto Jalisco. Para las condiciones climáticas, fundamentalmente enfocado al pronóstico de nubosidad, se siguen una serie de pasos que han demostrado su eficiencia en dicho pronóstico. El Cuadro 3 describe lo que regularmente se sigue en esta etapa de la planeación de la colecta de Imágenes, enfocadas al Piloto Jalisco.

Cuadro 2. Seguimiento en la revisión de Efemérides del Piloto Jalisco. Fuente: Elaboración Propia.



Cuadro 3 Seguimiento de los pasos a seguir en el pronóstico de la Nubosidad en la planeación de la colecta de Imágenes de Satélite. Fuente: Elaboración Propia.



Con base a estas revisiones, se realizan las tareas subsecuentes del procedimiento de planeación lo que termina con la entrega de las imágenes.

* 1. **Revisión de atributos en las Imágenes de Satélite y sus estándares Técnicos.**

Los estándares técnicos que se establecen para Imágenes de Satélite son sobre propiedades que, de acuerdo a la teoría, son fundamentales para contar con un producto de calidad. Sin embargo, sería interesante revisar dichos estándares y si son suficientes para garantizar la calidad de las Imágenes y de los productos resultantes. Los atributos regularmente revisados son:

* **Modo de Toma:** Estéreo - dos imágenes con ángulo de toma distinto en una misma entrega.
* **Resolución Espacial (GSD):** Tamaño del pixel depende del tipo de imagen;
* **Resolución Espectral:** Fusionado 3 bandas (R,G,B); Pancromático 1 banda; Multiespectral 4 bandas (R,G,B,NR)
* **Resolución Radiométrica:** 11 Bits original y 16 bits a la entrega
* **Nivel de Procesamiento:** Deben ser Ortho Ready Estandar 2A
* **Sistema de Coordenadas:** Deben ser Coordenadas Geográficas
* **Ángulo de Incidencia Máximo (Ángulo de Toma):** Ángulo no mayor a 30°
* **Grados permitidos entre tomas estéreo:** Ángulo no mayor a 30°
* **Kilómetros de Excedencia de toma:** 1 Kilómetro
* **Realces:** Las Imágenes no deben presentar Realces

Al llevar a cabo la revisión, cabe la pregunta de qué se debe de hace en caso de incumplimiento de algún estándar: En el caso de fotografías aéreas, se solicitaba a la compañía la reposición de las fotografías; sin embargo para Imágenes de Satélite no aplica reclamación de la reposición de las Imágenes. Lo único que puede proceder es volver a realizar el protocolo de la toma (colecta de la Imagen) de acuerdo los satélites fuente y realizar la toma nuevamente. El equipo del Instituto encargado de hacer la planeación debe de volver a realizar dicho proceso de toma.

Los estándares de calidad (estándares técnicos) dependen de los objetivos que se establecen en el proyecto a realizar. En la práctica, los estándares presentados son los que regularmente deben verificarse para su utilidad en el proyecto del Mapa Topográfico. Si por alguna condición de proyecto hubiese que modificar dichos estándares, el equipo experto debe establecer las condiciones para que se cumplan los objetivos del proyecto ya que no hay forma de modificar condiciones de toma del satélite sino solo verificar las condiciones ambientales que permitan su toma y el proceso a seguir para su uso en el proyecto.

* 1. **Componentes de calidad en Imágenes de Satélite.**

Las Normas ISO que existen sobre el tema geográfico, dan una idea general los tipos de atributos que regularmente surgen y cuáles pueden ser sus indicadores de Calidad. Además, sugieren seguir un protocolo cuyo objetivo es en efecto definir (determinar) los indicadores de calidad que proporciones la información clave respecto a los insumos, en este caso las Imágenes de Satélite.

Los componentes de Calidad que define la Norma ISO son los siguientes:

* **Linaje**. Describe la historia del conjunto de datos referido al ciclo de vida desde su captación y adquisición, pasando por su compilación, procesamiento y transformación hasta su forma actual (fuentes, procesos y métodos).
* **Completitud**. Presencia y ausencia de rasgos, sus atributos y relaciones. Concierne a la exhaustividad de una colección de objetos.

En este caso, refiere fundamentalmente a que la información que se requiere para dar seguimiento del proceso del Mapa Topográfico este completa; esto es de acuerdo a lo establecido en el proyecto a desarrollar.

* **Consistencia lógica**. Grado de apego a las reglas lógicas de las estructuras de datos, atributos y relaciones (las estructuras de datos pueden ser conceptuales, lógicas o físicas). Cuantifica respecto a las reglas lógicas de coherencia de la información.

Este componente obedece a una estructura que puede usarse y compartirse las varias dimensiones que considera el Mapa Topográfico.

* **Precisión temporal**. Análisis de los atributos y de las relaciones en un marco temporal.
* **Precisión de atributos**. Mide la fidelidad de datos derivados de clasificaciones y su contexto.
* **Precisión posicional**. Precisión altimétrica y planimétrica medidas sobre el terreno y las posiciones descritas en la base de datos. Las pruebas utilizadas establecen métodos para describir diferencias en las medidas de las coordenadas para “puntos bien definidos”

A continuación se describe brevemente en que consiste cada uno de los componentes de calidad para las Imágenes de Satélite.

**Linaje:** La revisión en términos de linaje en las Imágenes de Satélite consiste en la verificación y contenido de los siguientes puntos:

1. **Modo de Captura.**
2. **Satélite fuente.** Para el proyecto Jalisco, por ejemplo, los Satélites fuente fueron GeoEye-1, WorldView1, WorldView2 y WorldView3.
3. **Metadatos:** Los metadatos deben incluir la información suficiente de acuerdo al proyecto y ajustarse a lo que se especifica en la “*Norma técnica para la elaboración de metadatos geográficos” (NTM) INEGI-SNIEG*, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de diciembre de 2010.
4. **Tipo de Producto.-** Nivel de procesamiento, método de resampleo y niveles digitales.
5. **Formato.**

**Completitud:** La revisión en términos de completitud en la fotografía aérea se divide en 3 puntos:

1. **Polígono de área de estudio**

Se verifica en las Imágenes Satelitales entregadas incluya es su totalidad el polígono del área de estudio.

1. C**ubrimiento estereoscópico del área de estudio (100%)**

Se verifica que el polígono del área de estudio esté cubierto en su totalidad por las Imágenes Satelitales para garantizar la visualización estereoscópica del polígono.

**Consistencia Lógica:** En la consistencia lógica, verifica que las Imágenes tengan la utilidad requerida para el proyecto que se atiende.

**Precisión temporal:** Dependiendo de las fechas de toma de las Imágenes se deberá tener una precisión temporal para que los rasgos físicos que se busquen en ellas coincidan. Un detalle de interés es tomar en cuenta la diversidad de las áreas consideradas en el proyecto. Por ejemplo, los cambios en vegetación son menos dinámicos en áreas aisladas (rurales) que en zonas urbanas. De aquí que se considera un umbral de tiempo diferente dependiendo de las zonas donde se esté desarrollando el proyecto en cuestión.

**Precisión de atributos:** Los principales atributos, como se describió en líneas arriba, y su respectivo indicador o indicadores de calidad considera se dan a continuación

* **Resolución Espacial (GSD):** Dependiendo del tipo de Imagen Satelital, se tiene el estándar de precisión. Por su naturaleza cuantitativa, además de la proporción de cumplimiento por tipo de imagen, conviene deliberar entre otros indicadores de calidad como: Intervalos de confianza y/o valores extremos (máximos y mínimos).
* **Resolución Espectral.** Proporción de cumplimiento del estándar técnico.
* **Resolución Radiométrica**. Proporción de cumplimiento del estándar técnico.
* **Nivel de Procesamiento.** Proporción de cumplimiento del estándar técnico.
* **Ángulo de Incidencia Máximo (Ángulo de Toma).** Por su naturaleza cuantitativa, además de la proporción de cumplimiento por tipo de imagen, conviene deliberar entre otros indicadores de calidad como: Intervalos de confianza y/o valores extremos (máximos y mínimos).
* **Porciento de nubosidad.** Proporción de Imágenes que cumplen con la especificación técnica y posiblemente otros indicadores relacionados con la distribución empírica (percentiles)

La selección de (o de los) indicador(es) depende de la información disponible en la base de datos de las imágenes. Cabe destacar, que la calidad implica el uso de indicadores que dan información valiosa para el generador de información y para los usuarios.

De acuerdo a la norma ISO 19157, el diagrama del proceso a seguir en los indicadores de calidad, que aplica de iguala manera a Imágenes de Satélite como a Fotografías Aéreas, fundamentalmente a la revisión de los atributos se da en la siguiente figura:

Figura 1. Diagrama a seguir para evaluar y reportar resultados de calidad de datos: Fuente: ISO19114; página3



El Cuadro2, por complemento a la figura anterior, describe brevemente las etapas a seguir durante el proceso de evaluación de la calidad (ISO 19114 página 5); esto es, con el fin dar las bases para llevar a cabo de evaluación para datos espaciales (Geográficos) adoptada en INEGI.

Cuadro2. Etapas del proceso de evaluación de Calidad. Fuente: Elaboración Propia con adaptaciones de la Norma ISO 19114.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Etapa del proceso | Acción | Descripción |
| 1 | Identificar un elemento aplicable de calidad de datos (sub-elemento) y alcance de la calidad de datos. | El elemento, sub-elemento y alcance de la calidad de datos a ser probada, se identifica de acuerdo a los requerimientos de ISO 19113. Este paso se repite tantas veces como pruebas se requieran para la especificación del producto o requerimientos de los usuarios. |
| 2 | Identificar una medida de calidad de los datos (Indicador)  | Una medida de calidad de datos, tipo de valor de calidad y, si aplica, la unidad de medida de calidad de datos en cada prueba realizada. En la siguiente sección se dan ejemplos de medida de calidad para los elementos y sub-elementos de calidad de datos (ISO 19113). Además se da guía para la elección del indicador de calidad. |
| 3 | Seleccionar y aplicar un método de evaluación de Calidad. | Se seleccionan métodos de evaluación de calidad de datos para cada medida de calidad identificada.NOTA: Una descripción espacial de los resultados (alcanzados por interpolación espacial de los resultados, representación gráfica, etc.) podrían ser útiles, correspondiente no a un resultado, sino a un conjunto de datos diferente, aunque relacionado con el conjunto de datos. |
| 4 | Determinar los resultados de la calidad de los datos.  | Un resultado de calidad de datos cuantitativo, un valor de calidad de datos o un conjunto de da valores de calidad, unidad de medida de calidad y un conjunto de datos es lo esperado como salida de aplicar el método de evaluación.  |
| 5 | Determinar la conformidad. | Siempre que se haya especificado un nivel de calidad de conformidad en la especificación del producto o en los requisitos del usuario, el resultado de la calidad de los datos se compara con él para determinar la conformidad.Un resultado de calidad de datos de conformidad (falla o no falla) es la comparación del resultado de la calidad de los datos cuantitativos con un nivel de calidad de conformidad. |

* 1. **Indicadores de calidad por atributo en los componentes de calidad**

Similar al coso de Fotografías aéreas, la determinación de los indicadores depende de la información disponible o que se colecta para el insumo. La norma ISO19114 comenta que se tienen dos tipos de métodos para determinar indicadores; los métodos directos y los indirectos. Como puede verificarse, para los componentes de la calidad, específicamente para la precisión de los atributos, se aplican métodos directos; mientras que el único componente que usa métodos indirectos en Linaje.

Tomando como base las normas ISO19114 e ISO 19157, se presentan el siguiente cuadro de indicadores usuales para cada componente y la información que se requiere. Como es de esperarse, los indicadores de precisión son los que presentan mayor versatilidad en su diseño. Para las Imágenes de Satélite, hay fundamentalmente indicadores de completitud y precisión.

Cuadro 3. Descripción de indicadores de calidad por Componente. Fuente: Norma ISO 19114.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Atributo / Etapa de revisión**  | **Descripción** | **Unidad de Medición o Tipo de variable (información disponible) \*** | **Indicador** | **Unidad de medición del indicador** |
| *(Completitud)* **Completes** |
| *Polígonos de Áreas de Estudio (Completitud)* | Se verifica la entrega en formato requerido (shape) del polígono del área de estudio. | Cumple/No Cumple | Si están cubiertas los polígonos del área solicitada se asigna un 100% | % |
| *Cubrimiento Estereoscópico (Completitud)* | Se verifican de manera visual que las imágenes del polígono cumplan con cubrimiento estereoscópico. | Cumple/No Cumple | Si están cubiertas los polígonos del área licitada se asigna un 100% | % |
| **Linaje** |
| *Formato de las Imágenes de Satélite (Completitud)* | Se revisa que las Imágenes de Satélite sean del formato solicitado. | Cumple/No Cumple | Si cumple con la condición se agina 100% | % |
| *Metadatos (Completitud)* | Se verifica e contenido de acuerdo la “*Norma técnica para la elaboración de metadatos geográficos” (NTM) INEGI-SNIEG*. | Cumple/No Cumple | No se asigna valor debido a que puede ser ambiguo. | **Cualitativo (Subjetivo)** |
| **Consistencia Lógica** |
| *Identificación lógica de las imágenes de Satélite (Coherencia)* | Se verifica que las Imágenes tengan una identificación única; además de las características de cada una que ayuden a completar el análisis de calidad de las imágenes | Cumple/No Cumple  | Si cumple con la condición se agina 100% | **Cualitativo (Subjetivo)** |
| **Precisión Temporal**  |
| El análisis de refiere a las fechas y disponibilidad de las imágenes de Satélite los atributos y de las relaciones en un marco temporal. Aunque la Norma ISO no da un indicador de este atributo, se puede realizar una tabla de frecuencias de acuerdo a los años de emisión de la Imágenes. Es en si un análisis secundario ya que son otros los factores que se usan para determinar su utilidad para el proyecto específico. |
| **Precisión de Atributos** |
| *GSD -tamaño del pixel-**(Precisión)* | Se determina tamaño del pixel con los datos la altura de vuelo, la distancia focal de la lente y el tamaño del sensor en (pixeles) de las Imágenes. Depende del tipo de Imagen | Centímetros o Metros | Si cumple con la condición se asigna 1, 0 si no cumplePor la información disponible, se proponen otros indicadores complementarios | % de cumplimiento y otros  indicadores adicionales (Valores extremos/ Intervalos de Confianza)  |
| *Resolución espectral (Precisión)* | Se verifica que cada foto cumpla con la resolución mínima solicitada. | Bits | Por la información disponible, se reporta valor donde se cumple el estándar; lo que equivale a una variable binaria. | % de cumplimiento |
| *Ángulo de Toma* *(Precisión)* | Se verifica el valor del ángulo en las Imágenes seleccionadas.  | Grados | Si cumple con la condición se asigna 1, 0 si no cumplePor la información disponible, se proponen otros indicadores complementarios | % de cumplimiento y otros  indicadores adicionales (Valores extremos/ Intervalos de Confianza) |
| *Nubosidad (Precisión)* | Se evalúa el % de nubosidad en las Imágenes  | (%) | Si cumple con la condición se asigna, 1, 0 si no cumple Por la información disponible, se proponen otros indicadores complementarios Por la información disponible solo se reporta valor donde no se cumple el estándar; lo que equivale a una variable binaria. | % de cumplimiento |
| **Precisión de Posicional**  |
| Precisión altimétrica y planimétrica medidas sobre el terreno y las posiciones descritas en la base de datos. Las pruebas utilizadas establecen métodos para describir diferencias en las medidas de las coordenadas para “puntos bien definidos”; **No forma parte de la revisión de insumos.** |

Para las variables restantes la dimensión de calidad (indicador) es de Precisión para la cual existen muchas opciones dependiendo de la información disponible para su estimación. Para el caso que se discute, la información disponible es una variable binaria; es decir, “0” y “1” donde el “1” indica si las Imágenes de Satélite cumplen o no con el estándar de medida. En esta condición la opción es:

* *Proporción de imágenes que cumplen con el estándar solicitado*

La selección del indicador, depende de lo que se desea medir; por ejemplo, el estándar está referido a un promedio un intervalo de confianza y/o prueba de hipótesis puede ser buena opción; si es un referente mínimo o máximo, quizá deba usarse precisamente el máximo y/o mínimo con su respectiva distribución.

Es preciso comentar que los indicadores de calidad más orientados a una temática estadística, si se cuenta con la información, tendrían mayor versatilidad en el uso de los indicadores. La sección dedicada a la estimación de los indicadores, se dan los detalles de estimación de cada uno de ellos.

* 1. **Cálculo de Indicadores de Precisión**

Los indicadores de completitud, solo consisten en revisar el cumplimiento de lo establecido en la licitación y/o contrato; En este sentido, se puede decir que la revisión sería el proceso para determinar el “valor” de los indicadores. Sin embargo, para los de precisión se debe seguir un proceso analítico, el cual cambia dependiendo de la información disponible. Para los indicadores cualitativos como la consistencia lógica, aunque solo puede comentar sobre la *coherencia* de la información y si es o no consistente con el resto de la información.

Dado que la unidad de revisión en imágenes de satélite es el polígono, se presenta un indicador por polígono. Para el caso del piloto Jalisco, los análisis son por satélite

Para fines de presentación se da siguiente notación:

$$m =Identificador de satélite.$$

$$j =Subíndice de identificación de imágen satelital del polígono.$$

$K\_{m}=Número de Imágenes del polígono de referencia del satélite m$.

$$y\_{j}^{m}=Variable binaria resultado de revisión del atributo de la j-ésima imágen del polígono$$

Es imperativo recordar que la respuesta es binaria; 1 si la foto revisada cumple con el estándar y 0 si no cumple. El proceso de cálculo del indicador de calidad se estima como:

$$p^{m}=\frac{1}{K\_{m}}\sum\_{i=1}^{L}y\_{j}^{m}$$

A diferencia de las fotografías aéreas, por su naturaleza no se da el proceso de reposición de imágenes; a-priori la imagen se usa o no para el proyecto en específico.

Si se cuenta con la medida de los atributos existen varias opciones de precisión como indicadores de calidad, además de la proporción, como:

* *Desviación Estándar,*
* *Intervalos de Confianza (Pruebas de hipótesis),*
* *El Máximo o Mínimo (dependiendo del atributo que se esté midiendo), y*

por mencionar algunas opciones.

A continuación se dan las expresiones correspondientes y su interpretación en el contexto del problema. Vale la pena destacar que dependiendo del estándar y su interpretación, se selecciona el indicador o indicadores que dan respuesta a la calidad de los atributos o en si lo que se desea evaluar; por lo tanto es importante indicar como aplica para los estándares de los atributos revisados cada uno de ellos. Las estimaciones se dan por polígono.

*Desviación Estándar (DE o S).*

La *DE (o S)* es una medida de dispersión de un conjunto de datos, por lo que es interesante su interpretación cuando un conjunto de datos (no tanto un estadístico) que tan diversa es (o que tan homogénea) es la colección de datos. Mientras menor sea la desviación estándar la dispersión de los datos es menor. La expresión de cálculo por línea de vuelo es:

$$S=\sqrt{\frac{\sum\_{j=1}^{K\_{m}}\left(y\_{j}^{m}-p^{m}\right)^{2}}{K\_{m}-1}}$$

Este valor indica que tan homogénea es el polígono; si hay valores inusuales, el valor tendería a ser grande, por lo que habría sospecha de un posible incumplimiento del estándar solicitado en el atributo.

El uso de este indicador es adecuado cuando se desea una colección de imágenes suficientemente homogénea por polígono.

*Intervalos de Confianza (Pruebas de hipótesis)*

Si hay alguna “medida” estadística con suficiente versatilidad para el análisis de datos en general, es un intervalo de confianza. Su principal ventaja, es que puede ser referido tanto a promedios como a medidas de dispersión, lo cual aplica al caso en discusión. Para un parámetro en general, digamos $θ$, un intervalo de confianza del $\left(1-α\right)\%$ se define como:

$$\hat{θ}\pm VC\_{(1-\frac{α}{2})}EE(\hat{θ})$$

$VC\_{(1-\frac{α}{2})}$ = Valor crítico de la distribución de $\hat{θ}$.

Los valores críticos depende del parámetros que se esté estimando; los más usuales se refieren a la distribución normal o alguna derivada de esta como la *t-student* (para promedios y proporciones) y *ji-Cuadrada* (para desviaciones estándar).

El uso que puede darse a un intervalo de confianza es muy amplio; sin embargo,

* El más usual es la medida de probabilidad de que el parámetro medida este entre dos cotas determinadas por el intervalo; es decir entre $Li=\hat{θ}-VC\_{(1-\frac{α}{2})}EE(\hat{θ})$ y $ Ls=\hat{θ}+VC\_{(1-\frac{α}{2})}EE(\hat{θ})$. En este caso el estándar se fija como una probabilidad.
* Un segundo uso es si se desea hacer la prueba de una hipótesis sobre el valor que debe tomar el parámetro $θ$ para cumplir el estándar de calidad; si $Ho: θ=θ\_{o} $, entonces si el intervalo dado por $Li=\hat{θ}-VC\_{(1-\frac{α}{2})}EE(\hat{θ})$ y $ Ls=\hat{θ}+VC\_{(1-\frac{α}{2})}EE(\hat{θ})$ contiene a $θ\_{o}$ entonces hay cumplimiento del estándar. Este caso refiere al estándar de que el atributo debe tomar un valor determinado.
* Otra posibilidad, sería fijar una valor $θ\_{o}$ el cual debe tener una probabilidad de falla máxima; digamos $α$ ya sea inferior o superior; así si la cota $θ\_{o}$ es menor a $Ls=\hat{θ}+VC\_{(1-α)}EE(\hat{θ})$ se cumple el estándar; o si $θ\_{o}$ es mayor a $Li=\hat{θ}-VC\_{(1-α)}EE(\hat{θ})$. Ejemplos en cada caso serían la Deriva y Sobre-posición longitudinal y lateral.

Respecto al uso de estos criterios, vale la pena notar que además de la cota es necesario fijar una probabilidad, ya sea de confianza o de falla.

*El Máximo o Mínimo (Ma o Mi)*

El uso de los valores Máximo y Mínimo refiere en el contexto estadístico a Valores Extremos (hasta donde aplica a los datos geográficos debe ser establecido por expertos en el área de trabajo). Aunque en general es posible deducir la expresión de las distribuciones tanto del Máximo como del Mínimo, para las distribuciones más usuales, la forma analítica (cerrada) de la distribución en general no existe, por lo que debe recurrirse a estrategias de simulación para determinar cotas de probabilidad y/o valores críticos de la distribución. Son contadas las excepciones donde existe la forma cerrada del Máximo y/o Mínimo, como con las distribuciones Exponencial y Weibull; si así se asume, previo debería probarse la bondad de ajuste de la distribución a los datos. Así fijando un nivel de probabilidad del máximo o mínimo, se tendía posibilidad de concluir sobre el estándar de calidad del atributo.

Si $Ma=Max(Y\_{1},Y\_{2},… ,Y\_{n})$ y Si $Mi=Min(Y\_{1},Y\_{2},… ,Y\_{n})$, las expresiones para el Máximo y Mínimo son las siguientes:

$$F\_{Ma}= \left[F\_{y}\right]^{n}$$

$$F\_{Mi}= 1-\left[1-F\_{y}\right]^{n}$$

donde $F\_{y}$ es la función de distribución que se asume de las variables aleatorias (se asume independencia) y $F\_{Ma}$ y $F\_{Mi}$ se refieren a las funciones de distribución del Máximo y Mínimo respectivamente.

Si un estándar de calidad se refiere a un valor máximo, habrá que garantizar que los datos no alcancen dicha cota con una probabilidad dada (por ejemplo 95%) se puede obtener a través de un proceso de simulación; ya sea para los valores máximos o mínimos. Los resultados de *n* simulaciones son los que se usan para determinar los percentiles del intervalo de confianza; así, para un 95% de confianza, el valor ordenado de menor a mayor correspondiente al *n*×0.025 corresponde al percentil 2.5% y el *n*×0.975 al 97.5% con los cuales se genera el intervalo de confianza del 95%. Habría que definir el estándar de interés para que se dé el uso adecuado a los percentiles y tomar la decisión sobre el cumplimiento o no del estándar de calidad.

Para el polígono, si se asume independencia con la misma distribución entre líneas y de observaciones dentro de las líneas, el Máximo de los Máximos de cada línea equivale al Máximo de todas las observaciones en el polígono; lo mismo ocurre con el mínimo; Por lo tanto,

$$F\_{Ma}= =\left[F\_{y\_{j}^{m}}\right]^{K\_{m}}$$

es la función de distribución del Máximo, y

$$F\_{Mi}= 1-\left[1-F\_{y\_{j}^{m}}\right]^{K\_{m}}$$

es la función de distribución del Mínimo.

Nuevamente, habría que recurrir a la simulación para lograr obtener los valores que garanticen el estándar de calidad del atributo.

1. **¿Qué factores afectan la “calidad” de las Imágenes Satelitales?**

La calidad de las imágenes inicia desde la planeación de la toma de las imágenes que lleva una logística un tanto elaborada que la llevan a cabo expertos en el tema. Además, es interesante que aunque es un insumo similar a las fotografías aéreas, hay aspectos específicos que solo aplican a Imágenes satelitales. El siguiente diagrama muestra las variables (atributos) y da una idea de todos los factores que pueden afectar la calidad de las imágenes y a la vez a los productos que se derivan de estas.

Figura 4. Diagrama de variables que afectan la calidad de los insumos (fotografías aéreas): Fuente: Elaboración Propia.



**Condiciones ambientales.**

Aunque la figura no muestra el efecto de datos ambientales en las imágenes de satélite, como ya se comentó, el proceso de planeación de las tomas de imágenes es un proceso complejo que lleva una logística de rigor. Como se notará en los resultados de estos análisis, el llevar a cabo de buena manera este proceso, depende en gran medida el tener imágenes de satélite útiles y los suficientemente claras para llevar a cabo los procesos siguientes en el Mapa Topográfico por ejemplo en Aerotriangulación.

1. **Resultados de análisis de Calidad “Estudio de caso Piloto Jalisco**

A continuación se dan cuadros resumen de las imágenes de satélite usadas en el piloto Jalisco para los atributos mencionados. Cabe mencionar que muchos de ellos fueron revisados a-priori (antes de que se nos enviara la información) por lo que solo se incluyen los referentes a:

* Ángulo de Toma
* Resolución Espacial
* Nubosidad

El siguiente cuadro muestra los indicadores alternativos a la proporción de Imágenes que cumplen con el estándar del ángulo de toma.

Los resultados de las especificaciones técnicas reportadas en la base de datos en los archivos disponibles.

Archivo con la información seleccionada para el proyecto del Mapa Topográfico (1289 imágenes). Para los fines del análisis de calidad de insumos para Mapa Topográfico, se da énfasis a la base usada con las especificaciones técnicas que se deben cumplir.

La primera Parte del cuadro corresponde a las 1289 imágenes enviadas; mientras que la segunda parte es solo para las imágenes Ortho Ready Estándar 2ª.

Cuadro 4. Resumen de estimaciones del Angulo de Toma para las imágenes usadas en el Piloto Jalisco.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Número de Imágenes** | **Promedio** | **Máximo** | **Desviación Estándar** | **LI** | **LS** |
| **GeoEye-1** | 701 | 19.34 | 29.7 | 6.1739 | 18.88 | 19.79 |
| **WorldView-2** | 434 | 21.22 | 33.5 | 7.9254 | 20.47 | 21.97 |
| **WorldView-3** | 154 | 21.84 | 30.1 | 6.9839 | 20.74 | 22.94 |
| **Total general** | 1289 | 20.27 | 33.5 | 6.9786 | 19.89 | 20.65 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **GeoEye-1** | 381 | 18.32 | 29.5 | 6.2201 | 17.70 | 18.95 |
| **WorldView-2** | 424 | 21.36 | 33.5 | 7.9367 | 20.61 | 22.12 |
| **WorldView-3** | 150 | 21.90 | 30.1 | 7.0668 | 20.77 | 23.03 |
| **Total general** | 955 | 20.23 | 33.5 | 7.3214 | 19.77 | 20.70 |

La tabla muestra indicadores adicionales del Ángulo de Toma para todas las Imágenes usadas y para las Imágenes Ortho Rady Estándar 2A. Ambos cuadros presentan resultados muy similares, por lo que el usar Todas las Imágenes o las Ortho Rady Estándar 2A no afecta los resultados de análisis. En este caso, el máximo y el Intervalo de confianza (al 95%), además de ser muy usuales en los análisis de calidad, el Máximo parece dar una señal de la calidad del insumo.

A continuación se presenta el resultado de la Resolución espacial (GSD) que depende de la fuente (Satélite ) y del Nivel de procesamiento.

Cuadro 5. Resumen de estimaciones del Angulo de Toma para las imágenes usadas en el Piloto Jalisco.



La Resolución Espacial depende del satélite que colecta la Imagen. Las imágenes Fusionadas y Pancromáticas deben cumplir con GSD menor a 0.50 metros; mientras que para las multiespectrales debe ser menor a 2.00 metros.

Las estimaciones del cuadro anterior muestran que los valores máximos en GSD, en esencia, cumplen las especificaciones en todas las imágenes. En este caso cabe resaltar que Intervalo de Confianza al 95%, particularmente el límite superior queda relativamente cerca del Máximo; ambos parecen dar pauta de la calidad de las imágenes.

Con estas estimaciones lo importante es decidir cuál(es) podría(n) ser el “mejor” o “mejores” indicadores para la Resolución Espacial conjuntamente con la proporción de cumplimiento de la especificación técnica; por ejemplo el Intervalo de Confianza al 95% y/o el Máximo.

Finalmente, se presentan los resultados de Nubosidad; el Cuadro 6 muestra una tabla tanto del número de imágenes y la proporción de acuerdo a los valores de la nubosidad.

Cuadro 6. Resultados de Análisis de nubosidad de Imágenes de satélite por satélite fuente.



Dado el valor de referencia del 10%, se tiene que Para GeoEye-1, el 82% de la imágenes tienen Nubosidad menor al 10%; Para WV2, el 83% y para el WV3 el 89%. Este valor se puede considerar un indicador de calidad ya que refiere a la proporción de imágenes que cumplen con la especificación técnica.

Lo sobresaliente del cuadro es la cantidad de imágenes con Nubosidad igual a 0% - entre el 63% y 67% la nubosidad es igual a 0% - . Esto es un indicador de la eficiencia en la simulación de nubosidad y programación de la colecta de las Imágenes.

La gráfica siguiente, muestra las frecuencias relativas con el fin de visualizar la distribución del porcentaje de nubosidad.

Figura 5. Distribución del porcentaje de nubosidad por satélite fuente. Fuente: Elaboración propia.

La distribución sugiere usar como posibles indicadores de calidad “Percentiles” empíricos; es decir, fijar una probabilidad de “éxito” (objetivo) y verificar el valor de nubosidad que le corresponde. De esta manera se da una idea que tan cerca está el cumplimiento del estándar técnico de las imágenes; Además, dado que la distribución no sigue la distribución normal, usar otros indicadores podría no ser muy claro sobre la calidad de las imágenes.

1. **Sugerencias.**

Dada la información incluida, es importante discutir en un grupo especializado, los indicadores complementarios que pudiesen acompañar a la proporción de imágenes que cumplen con el estándar técnico. De esta manera, se podría tener un reporte de calidad más completo y rico que den una clara idea d la calidad de las imágenes de satélite con las que cuenta el Instituto para la elaboración de productos como aquellos derivados del mapa topográfico.

**Referencias**

* Bergdahl, M. and Lyberg, L. (2004): Quality Management at Statistics Sweden. Current Work and the Future. Paper presented at the European Conference on Quality and Methodology in Official Statistics (Q2004), Mainz, Germany, 24-26 May 2004. Karlberg and Prost 2004.
* Eurostat (2003): DESAP – Development of a Self Assessment Programme, The European Self Assessment Checklist for Survey Managers.
* Eurostat (2007) Handbook on Data Quality Assessment Methods and Tools
* Karlberg, M. and Probst, L. (2004): The Road to Quality. The Implementation of the Recommendations of the LEG on Quality in the ESS. Paper presented at the European Conference on Quality and Methodology in Official Statistics (Q2004), Mainz, Germany, 24-26 May 2004.
* International Organization for Standarization – Technical Commitee 211 Geografic Information – Quality Evaluation Procedures – ISO 19114, 2003 pg. 3
* Sebastian-Coleman L. (2013) Measuring data quality for ongoing improvement: A data quality assessment framework. Elsevier Inc.
* INEGI (2020) “Estudio de casos de calidad de los insumos; Piloto Tren Maya” ---- En Revisión -
* INEGI (2020) “Buenas Prácticas para licitación de Insumos: Fotografías Aéreas” ----En Elaboración –