

## Metodología Óptima Censo Nacional Agropecuario

Autor: Msc. Fernando Oday Rivero Sugiura

### Introducción

La etapa más importante en la planificación de un Censo, y en este caso, un Censo Agropecuario, es la actualización cartográfica o pre-censo. El Censo Agropecuario utiliza imágenes de satélite del sensor Landsat ETM+ (satélite para la obtención de imágenes de uso de la tierra). Un primer paso consiste en separar la tierra en dos áreas geográficas: cultivable y no cultivable<sup>1</sup> para luego realizar su medición. En segundo lugar consiste en estratificar el área cultivable en cultivo alto, medio y bajo. En tercer lugar, se divide los estratos en pequeñas áreas geográficas denominadas conglomerados o sectores censales con límites físicos reconocibles en terreno, y finalmente, subdividir los sectores censales en segmentos censales.

El método presentado, es utilizado actualmente por varios países de Europa, Norte América y Sud América. En esta última región del mundo, se reconoce la experiencia de: Brasil, Argentina, Chile, Perú, Ecuador y Colombia con más de diez años de experiencia en algunos casos. La situación de Bolivia es lamentable, emprendemos actualmente un Censo Agropecuario sin ninguna metodología establecida y que sea al menos reconocida, retrasados por más de diez años en relación a los países mencionados.

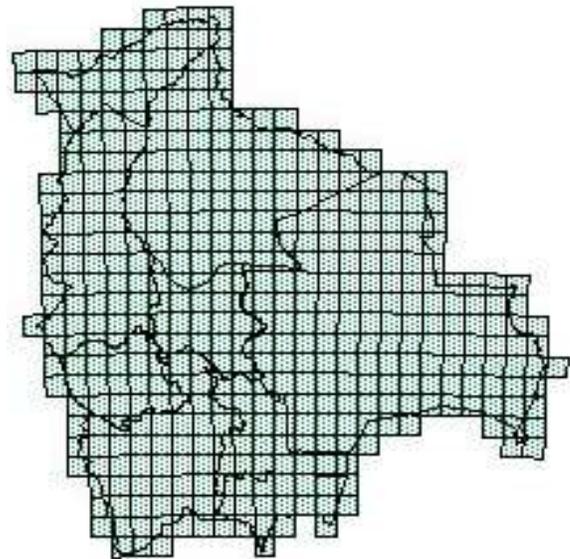
El artículo presentado es fruto de mi participación en un seminario taller realizado en Santiago de Chile propiciado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y el Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (INE). En este taller, después de adquirir el conocimiento metodológico, se me encomendó concientizar, planificar y ejecutar el proyecto descrito en favor de mi país. Al retorno, lo único que conseguí es rechazo indicando que nosotros “los bolivianos” no tenemos la capacidad de implementar este tipo de

metodologías. Al final, el desarrollo amplio de este tema como autor intelectual, se convirtió en un trabajo de tesis de maestría denominado “Construcción de Marcos Muestrales de Áreas con Imágenes Satelitales, para Encuestas Agrícolas en Bolivia”.

### Metodología

#### Cobertura

La Figura N° 1 muestra el territorio boliviano en cuadrículas a escala 1:100.000, donde cada cuadrícula representa una lámina de imagen satelital con un total de 432 imágenes. Cada imagen tiene una superficie aproximada de 2.942 km<sup>2</sup> o 294.200 ha. La suma de la superficie total en las 432 imágenes alcanza a 1.270.944 km<sup>2</sup>. La superficie oficial del país es de 1.098.581 km<sup>2</sup>, con una diferencia de 172.363 km<sup>2</sup>; área que está comprendida en los sobrantes de las imágenes que hacen las fronteras.



Fuente: Instituto Geográfico Militar

<sup>1</sup> Área cultivable es aquella que incluye el área cultivada y aquella disponible para el cultivo.

## Demarcado de límites político - administrativos

Una vez que se dispone de las imágenes de satélite total del país a determinada escala, se procede a realizar los trazos de los límites político – administrativos nacionales e internacionales sobre el conjunto de imágenes que engloban la superficie total. Este demarcado se efectúa sobre la imagen satelital disponible en medio magnético empleando software especializado. Posteriormente, concluido el delineado de los límites internacionales, se procede al trazo de los límites departamentales, provinciales y municipales.

## Estratificación

La división de la tierra en áreas cultivables y no cultivables, es la fase más importante y de detalle en la actualización cartográfica censal. Su calidad y precisión dependen de esta fase para garantizar posteriormente muestreos aleatorios de gran eficiencia en proyectos de encuestas agrícolas. Este proceso sigue una metodología de clasificación por métodos estadísticos de objetos o píxeles como unidades básicas de una imagen de satélite, y la utilización de operaciones iterativas que afianzan la clasificación del uso de la tierra en estratos.

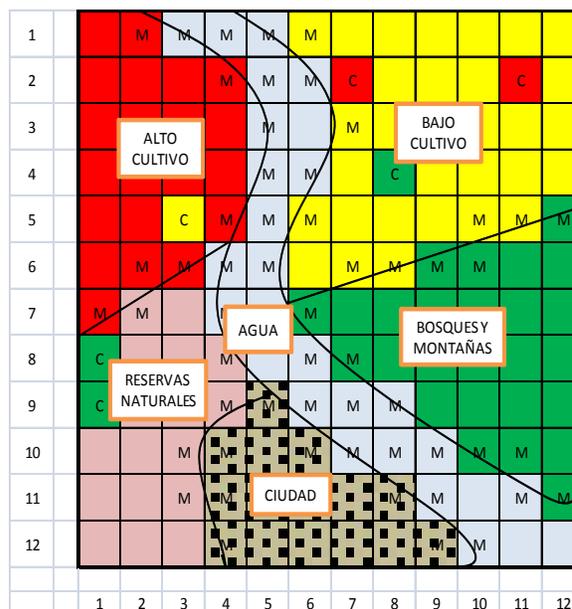
La estratificación consiste en conformar áreas territoriales de mayor dimensión, donde predomina el nivel de cultivo u otra situación como: la estratificación de bosques y montañas, agua, desiertos, selvas vírgenes, parques nacionales, reservas militares, zonas urbanas, etc. de toda el área estudiada.

El proceso de mayor cuidado comprende la estratificación del suelo con cultivo por ser el área de interés. Su determinación final debe ser verificada en base a la experiencia del personal en fotointerpretación de imágenes de satélite, este procedimiento se realiza reiteradas veces hasta obtener una o varias propuestas de estratificación que deben ser verificadas luego en el trabajo de campo.

La estratificación por uso de la tierra, sigue dos etapas: la clasificación no supervisada y la supervisada. Suelen utilizarse ambos procedimientos ya que son complementarios. La clasificación supervisada emplea el conocimiento del terreno pero si este conocimiento no es perfecto, puede dejarse de lado cosas que una clasificación no supervisada detectaría.

## Clasificación no supervisada

Se inicia construyendo clasificaciones del uso de la tierra sin información a priori, o sea, a partir de conjuntos de patrones desconocidos. El método consiste en emplear un algoritmo que agrupe automáticamente píxeles de la imagen satelital en distintas clases de acuerdo con un cierto criterio estadístico de clasificación (métodos multivariados de Análisis Cluster Jerárquico, ISODATA, Máxima Verosimilitud y Paralelepípedo).



Fuente: Elaboración propia

La Figura N° 2, muestra un ejemplo descriptivo de una imagen satelital compuesta de doce píxeles por lado. Como se observa, la clasificación en alto cultivo aparece en color rojo, el cultivo bajo en color amarillo, los bosques y montañas en color verde, etc. La letra M identifica píxeles que combinan entre dos tipos de clasificación del uso de la tierra, sin

embargo, tienen color con predominio al de mayor superficie. Los píxeles con la letra C, son aquellos que se encuentran al interior de una clasificación mayoritaria. Por ejemplo, dentro del cultivo bajo, hay dos áreas con cultivo alto y una de bosques y montaña. En la clasificación mayoritaria de cultivo alto, existe un área de cultivo bajo.

Finalmente en la clasificación de reservas naturales existe un área pequeña definida como bosques y montañas. Esta es la variedad que caracteriza a una clasificación no supervisada.

En el primer caso, no se puede mantener separados los píxeles de cultivo alto como estrato de cultivo alto dentro del predominio de un estrato de cultivo bajo, por lo tanto posiblemente sean absorbidos como estrato de cultivo bajo. El píxel de bosques y montañas de igual forma puede ser absorbido o mantenerlo separado, de acuerdo a su magnitud. En el segundo caso, de igual manera, el área clasificada como de cultivo bajo dentro del predominio estrato de cultivo alto, posiblemente sea absorbido por el estrato de cultivo alto.

En el tercer caso la clasificación de reservas naturales, puede que tenga áreas geográficas de otras clasificaciones de uso de la tierra, por lo que quedará como estrato de reservas naturales. La descripción anterior se refiere al tratamiento de una clasificación supervisada o conformación de estratos.

### **Clasificación supervisada**

Se conoce a priori la identidad y localización de algunos tipos de objetos clasificados, por ejemplo, áreas cultivables, cobertura de bosques, cuerpos de agua, sectores urbanos, etc., mediante el análisis de cartografía geológica, identificación visual de imágenes satelitales, la experiencia de expertos en reconocimiento del suelo y el trabajo de campo. El método se caracteriza en que el usuario tiene control en la selección de clases denominadas *clases informacionales*, por lo tanto define *patrones de entrenamiento* para conformar áreas lo más homogéneas posibles. Se emplean los métodos

estadísticos siguientes: método de funciones discriminantes, bayesiano, método de muestras de entrenamiento, análisis de varianza, etc.

### **Definición de estratos**

De acuerdo a los resultados de la clasificación de píxeles y la interpretación de imágenes satelitales en bandas de diferentes tonalidades, se procede a dividir el área geográfica en estratos cultivables y no cultivables. Los estratos se definen teniendo en cuenta la proporción de cultivo y el uso de la tierra. Estos son:

**Estrato (10)** Superficie total o casi totalmente cultivable.

- Agricultura intensiva, que comprende las tierras que se encuentran cultivadas entre el 60% y 100% en cualquier momento del año. Explotaciones agrícolas con cultivos semi-permanentes y permanentes. Cultivo alto con delineación de color rojo.

**Estrato (20)** Superficies semi-cultivables.

- Agricultura extensiva, en la que se incluyen las tierras cultivadas en un 30% a 59% en cualquier momento del año. Explotaciones agrícolas con cultivos temporales y semi-permanentes. Cultivo medio con delineación sobre la imagen satelital de color amarillo.

**Estrato (30)** Superficies marginalmente cultivables.

- Tierras cultivables en un 1% a 29% en cualquier momento del año y/o tierras con pastos naturales o pastos cultivados. Explotaciones agrícolas con cultivos temporales y semi-permanentes. Cultivo bajo con delineación de color verde.

**Estrato (40)** Superficie no agrícola

- Tierra no apta para el cultivo o pastoreo, como desiertos, altas montañas, bosques,

selvas, acantilados, yermos, parques nacionales, glaciares o cualquier otra zona totalmente yerma. No tiene delimitación en la Figura N° 4.

## Estrato (50) Área urbana

- Centros urbanos donde no se prevé encontrar ninguna actividad agrícola o ganadera.
- 

## Estrato (60) Agua

- Son superficies de agua, como lagos, embalses, lagunas, salares y grandes ríos. Los pequeños ríos con un ancho menor a 100 metros no son objeto de estratificación y se emplean más bien como delimitación de estratos o conglomerados.

Los estratos con código 10, 20 y 30 son con prioridad el objetivo de la actualización cartográfica.

## Delineado de estratos

Los límites de los estratos deben seguir accidentes o elementos físicos existentes sobre el terreno y que sean fácilmente discernibles, así se facilita su localización en campo. Una lista de elementos aceptables como límites, por orden de prioridad es la siguiente:

- Carreteras principales asfaltadas.

- Carreteras secundarias transitadas todo el año.
- Caminos carrozables permanentes.
- Líneas ferroviarias.
- Ríos y arroyos permanentes.
- Canales permanentes de avenamiento y riego.
- Corrientes y ríos intermitentes que llevan agua en épocas de lluvia.
- Cercas en campos y delimitaciones en terrenos.
- Caminos y sendas transitadas por hombres y animales.
- Delineado de árboles y arbustos.

El trazo de los estratos debe respetar los límites político – administrativos del país, aunque estos sean imaginarios.

## Control de calidad de la estratificación

Para una evaluación de la clasificación supervisada de uso de la tierra y el método utilizado, se emplea la denominada **matriz de confusión** o de contingencia. Esta matriz contiene en sus filas las clases definidas de uso de la tierra realizadas por un método de clasificación no supervisada y en las columnas se identifican las mismas clases conformadas por un método de clasificación supervisada.

Figura N° 3  
Matriz de confusión, ejemplo

Matriz de confusión		Categorías Verificadas					Total	Error absoluto de omisión	Riesgo (%)
		Método de Máxima Verosimilitud							
Método ISODATA		10 Cultivo alto	20 Cultivo medio	30 Cultivo bajo	40 No agrícola	50 Agua			
Categorías en la Imagen Clasificada	10 Cultivo alto	60	2	1	0	0	63	3	4,8
	20 Cultivo medio	2	76	2	0	0	80	4	5,0
	30 Cultivo bajo	1	2	115	1	0	119	4	3,4
	40 No agrícola	0	0	3	43	1	47	4	8,5
	50 Agua	0	0	0	0	26	26	0	0,0
Total		63	80	121	44	27	335	15	
Error absoluto de omisión		3	4	6	1	1	15		
Riesgo (%)		4,8	5,0	5,0	2,3	3,7			

Fuente: Elaboración propia

Según el ejemplo en la tabla, se han examinado 335 valores pixelares de los cuales 15 fueron mal clasificados, representando un 4,5%. Así, se puede probar el mismo método de clasificación no supervisada con otro método de clasificación supervisada.

El índice empleado en la evaluación de la calidad de la clasificación, es el estadístico Kappa  $\kappa$ , que cuantifica el nivel de acierto atribuible al método de clasificación. Este se define de la siguiente manera:

$$\kappa = \frac{\sum_i \pi_{ii} - \sum_i \pi_i \sum_i \pi_i}{1 - \sum_i \pi_i \sum_i \pi_i}$$

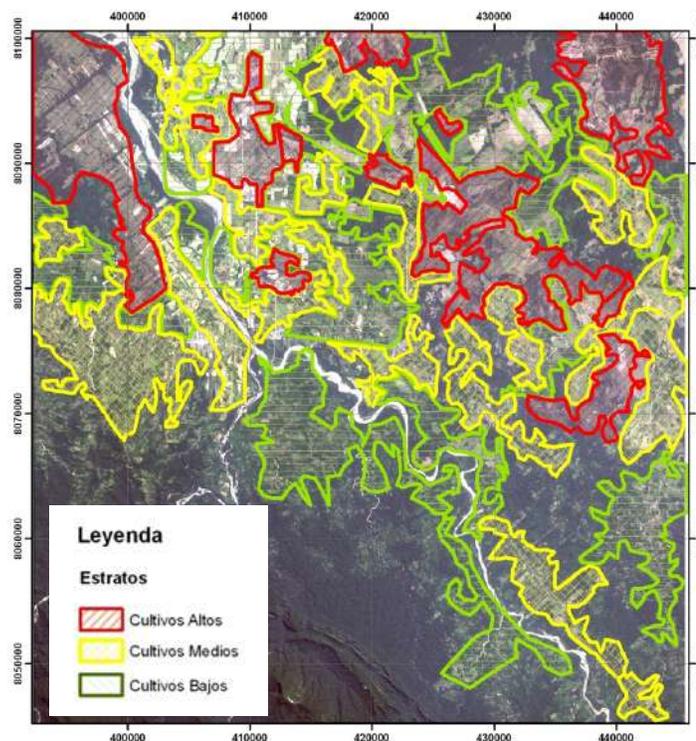
Donde  $\pi_{ii}$  es la frecuencia conjunta y  $\pi_i$  la frecuencia marginal de la Matriz de Confusión. El estadístico  $\kappa$  varía entre 0 y 1, si está entre 0.00 y 0.20 la concordancia de la clasificación es insignificante; si está entre 0.21 y 0.40 la clasificación es baja; si el valor está entre 0.41 y 0.60 la concordancia de la clasificación es moderada; si está entre 0.61 y 0.80 es buena; y finalmente si está entre 0.81 y 1.00 la clasificación es muy buena.

### Medición de estratos

Una vez concluido el proceso de clasificación y posterior estratificación con el delineado correspondiente, se procede a realizar la medición de los estratos de manera repetida de al menos dos veces, registrando dichas mediciones en una base de datos y comparado con la superficie total medida en la primera fase.

Se miden los estratos de superficie cultivable y no cultivable. Si la medición realizada por estrato y agregada en todos los estratos no coincidiera con la medición global de la superficie del terreno estudiado, se deben revisar los trazos de la estratificación y la medición del área hasta lograr la coincidencia. Puede ser que los trazos de los límites de cada estrato estén separando una determinada porción de terreno que hace que se genere el error en la medición. La medición se efectúa mediante el uso de software especializado (Erdas Imagine o Arc-Gis) conformando el trazado de segmentación y posteriormente su medición, transferidos a una planilla de datos del mismo software.

Figura N° 4  
Estratificación sobre la imagen de satélite



Fuente: Imagen Satelital LANDSAT ETM 7. Elaboración propia.

## Subdivisión de los estratos en conglomerados y segmentos censales

Cada estrato se divide completamente en áreas no solapadas, si es posible con límites físicos reconocibles y permanentes llamados conglomerados. La división debe hacerse respetando las jurisdicciones geográficas administrativas de la provincia y municipio. Lo mismo para una subdivisión del conglomerado o sector censal en segmento censal.

1. Las áreas geográficas o conglomerados se identifican y delimitan sobre las mismas imágenes de satélite donde se trazaron los estratos agrícolas. Los límites de los conglomerados no deben solapar ni sobrar los límites de los estratos. El trabajo de delimitado de conglomerados es similar al de la estratificación, utilizando software especializado en imágenes de satélite. Para delimitar los conglomerados se utiliza el color del estrato al que pertenecen.

La delimitación de segmentos censales se realiza sobre fotos aéreas separadas de las imágenes de satélite. El Cuadro N° 1, muestra los tamaños mínimo, óptimo y máximo del conglomerado y segmento censal por estrato agrícola.

*Cuadro N° 1  
Tamaño óptimo de conglomerado y segmento censal por estrato agrícola*

Estrato	Descripción	Tamaño del sector censal km <sup>2</sup>			Tamaño del segmento censal km <sup>2</sup>		
		Mínimo	Óptimo	Máximo	Mínimo	Óptimo	Máximo
10	Agricultura Intensiva - Cultivo entre 60 y 100%	3.0	5.0	7.0	0.6	1.0	1.4
20	Agricultura Extensiva - Cultivo entre 30 y 59%	3.0	5.0	7.0	0.6	1.0	1.4
30	Tierras cultivadas entre 1 y 29%	7.5	10.0	12.5	1.5	2.0	2.5

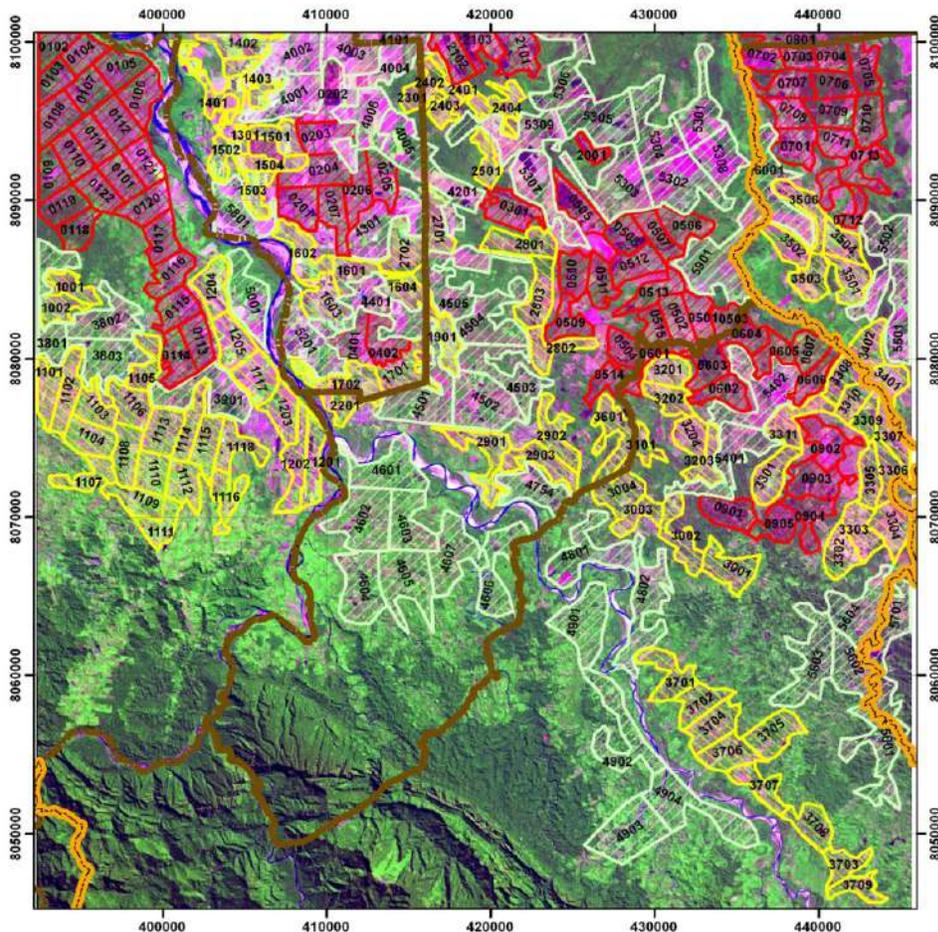
Fuente: Elaboración propia

En algunos casos se admiten desviaciones significativas respecto al rango del tamaño de los conglomerados debido a la falta de límites físicos visibles, sobre todo en los estratos de baja densidad de cultivo. En las zonas en que es imposible encontrar límites físicos, se emplean límites imaginarios.

*“La ignorancia humana no permanece detrás de la ciencia,  
crece tan rápidamente como esta”*

*Stanislaw Jerzy Lec*

Figura N° 5  
Conglomerados o sectores censales



El tamaño del conglomerado también tiene que ver con el ajuste de los límites de un determinado municipio. Existen municipios que en términos de superficie son relativamente pequeños, dando lugar a un difícil ajuste del tamaño de la superficie de los conglomerados cumpliendo lo establecido en el Cuadro N° 1.

La Figura N° 6 muestra la delimitación de un segmento censal al interior de un sector censal o conglomerado en una foto aérea. Un segmento censal es asignado a un empadronador, donde los tipos de cultivos dibuja y traza sobre la foto.

Figura N° 6  
Conglomerado y segmento censal en foto aérea



Fuente: Elaboración propia

## Medición de conglomerados y segmentos censales

La medición de los conglomerados y segmentos censales se realiza uno por uno al interior del estrato, el valor de medición debe verificarse al menos dos veces registrando las diferencias de medición que se puedan dar, hasta alcanzar precisión. Como en los anteriores casos, la suma de superficie total de los conglomerados y segmentos censales debe ser exactamente la superficie total medida en el estrato correspondiente.

En el empadronamiento no será necesario preguntar al productor la superficie cultivada de cada producto agrícola y mucho menos del total, puesto que ya se registra con la medición georreferenciada que presenta la imagen de satélite. Esta forma de trabajo no permite la subdeclaración frecuente del entrevistado al momento de realizar el Censo Agropecuario.

*“La felicidad se alcanza cuando lo que uno piensa,  
lo que uno dice y lo que uno hace están en armonía”*

*Mohandas Karamchand Gandhi*

